

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. ТИХОМИР ГРИШЕВ ВАСИЛЕВ

ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ НА ДОРНОВАНЕТО ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА КАЧЕСТВОТО И ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ДОВЪРШВАЩА ОБРАБОТКА НА БРОНЗОВИ ЛАГЕРНИ ВТУЛКИ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна
и научна степен “Доктор”

Научен ръководител: Проф. д.т.н. инж. Димитър Светлозаров Георгиев

Рецензенти:

1. Проф. д.т.н. инж. Владимир Денев Витлиемов – РУ „Ангел Кънчев”
2. Проф. д.т.н. инж. Йордан Тодоров Максимов – ТУ – Габрово

Варна, 2013 г.

Дисертационният труд е обсъден на 06.11.2013 г. в катедра “ТМММ” и насочен за защита.

Автор: маг. инж. Тихомир Гришев Василев – t.vasilev@abv.bg

Заглавие: „Технологични възможности на дорноването за управление на параметрите на качеството и експлоатационните характеристики при довършваща обработка на бронзови лагерни втулки”

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА

маг. инж. Тихомир Гришев Василев

**ТЕХНОЛОГИЧНИ ВЪЗМОЖНОСТИ НА ДОРНОВАНЕТО ЗА УПРАВЛЕНИЕ
НА ПАРАМЕТРИТЕ НА КАЧЕСТВОТО И ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ДОВЪРШВАЩА ОБРАБОТКА НА БРОНЗОВИ
ЛАГЕРНИ ВТУЛКИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за получаване на образователна
и научна степен “Доктор”

Варна, 2013 г.

Дисертационният труд съдържа 135 страници, включително 107 фигури, 12 таблици и 1 приложение, оформени в 6 глави, общи изводи и списък на използваната литература от 115 заглавия, от които 50 на кирилица и 65 на латиница.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на **26.03.2014 г. от 11.15 часа** в **Конферентна зала НУК** на открито заседание на жури сформирано със заповед на Ректора **№ 481/06.12.2013 г.**

Материалите по защитата (дисертацията, рецензиите и становищата) са на разположение на интересуващите се във ФД “Докторанти”, стая 318 НУК.

АКТУАЛНОСТ НА ПРОБЛЕМА

Бронзовите лагерни втулки са широко разпространени в машиностроителното производство поради специфичните си експлоатационни възможности и високата корозионна устойчивост. Продължителната работоспособност на машините в повечето случаи зависи пряко от дълготрайността на лагеруващите в нея елементи. Поради тази причина, изискванията към качеството на лагерните втулки, използвани като плъзгащи лагери е повишено.

Маршрутната технология за изработка на детайли от типа на лагерните втулки, включва в себе си процеси като: чисто разстъргване, райбероване, шлифване и протегляне. Изискванията към качеството на лагерните повърхнини са: - клас на точност на размерите - 7-8-ми; - отклонения от кръглост и цилиндричност между 5 и 20 μ m в зависимост от номиналния размер на лагера; - грапавост по вътрешната повърхност $Ra \leq 2,5\mu$ m в зависимост от режима на лагеруване;

Достигането на тези параметри на качеството, често налага използването на гореизброените довършващи технологични процеси с повишени изисквания към стабилността на технологичната система, което от своя страна повишава времето необходимо за довършващо обработване на плъзгащите лагери.

Метода на дорноване е процес, при който в следствие на един преход на инструмента се достигат високи параметри на качеството на обработените повърхнини. Параметрите на качеството, които се постигат чрез метода на дорноване са: - понижаване на грапавостта с около 5-10 пъти спрямо изходната грапавост; - висока точност на размерите – 6÷8-ми клас; - понижаване на отклоненията от формата с 2-5 пъти и повишаване на твърдостта на повърхностния слой с 50-80 %;

Тези параметри на качеството, съчетани с ниските разходи за инструментална екипировка и оборудване, характерни за процеса дорноване, биха довели до понижаване на себестойността на готовата продукция. Тези предимства на дорноването и изискванията към плъзгащите лагерни втулки, дават основание за успешно прилагане на дорноването при изработка на бронзови лагерни и водещи втулки.

От друга страна, уякчаването на бронзовите материали, както и други медни сплави е постижимо единствено чрез прилагането на методи включващи в същността си повърхностна пластична деформация (ППД).

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Цел на настоящата работа е изследване на технологичните възможности на различни схеми на довършваща обработка на бронзови втулки посредством дорноване, с цел оптимизация на параметрите на качеството и експлоатационните характеристики на обработените повърхнини.

За постигането на целта си поставяме следните задачи:

1. Да се изследват теоретично отклоненията във формата на обработваната заготовка, като резултат от конструктивните размери на дорноващите елементи, технологичните режимни параметри на процеса и схемата на обработка.

2. Да се изследва грапавостта, точността, отклоненията във формата и микротвърдостта по повърхностния слой на обработените чрез вътрешно и външно редуциращо дорноване бронзови лагерни втулки.

3. Да се изследва влиянието на режимите на външно редуциращо и дорноване на отвора на лагерни втулки, върху параметрите на качеството и експлоатационните им характеристики, като се обосноват получаващите се технологични предимства.

4. Да се сравнят експлоатационните характеристики на обработени с различни довършващи методи бронзови лагерни втулки с тези обработени чрез дорноване и да се обоснове възможното време на експлоатацията им в условията на плъзгащи лагери.

5. Да се изследва теоретично и експериментално машинното време необходимо за осъществяване на процес дорноване и резултатите да се сравнят с машинните времена за обработка чрез други довършващи методи.

ОБЕКТ И ПРЕДМЕТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Обектите на изследването представляват четири от най-разпространените в машиностроенето бронзови материали използвани за изработка на лагерни втулки (CuZn5Sn5Pb5, CuSn12, CuAl9Fe4, CuSn10Pb10).

МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследвани са пет групи експериментални образци, като технологичните режими, с които са обработени следват последователността на методиките за планиране на експерименти. Разликите между параметрите на качеството, регистрирани преди и след обработка чрез дорноване, представляват параметри на оптимизация, като изменението им в зависимост от параметрите на режима, показва влиянието върху тях.

Оптимизацията на качествените показатели на обработените повърхнини при различни режими на дорноване, позволяват да се направят извадки от различните групи образци, в които са съсредоточени най-високите им показатели. Експлоатационните свойства на тези образци са сравнени с експлоатационните свойства на образци, обработени чрез други довършващи технологични процеси.

МЯСТО НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Изследванията са извършени в „Технически университет – Варна”.

НАУЧНА НОВОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Научна новост представляват получените регресионни модели, показващи връзката между технологичните параметри на процесите на вътрешно и външно дорноване и параметрите на качеството на дорнованите детайли, извършени за различни марки бронзови материали принадлежащи към големи групи от медните сплави.

Направени са теоретични изследвания показващи връзката между режимните параметри на процеса дорноване и отклоненията от формата на обработената повърхнина.

ПРАКТИЧЕСКА ЦЕННОСТ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Установени са конкретни стойности на технологичните режимни параметри за вътрешно и външно дорноване, чрез които се постигат благоприятни стойности на параметрите на качеството на обработваните повърхнини.

Обосновани са предимствата на обработените чрез дорноване повърхнини, сравнени с други технологични методи на довършителна обработка, от гледна точка

на: - получените данни за износването на лагерния материал повреме на сработване на лагерната двойка; - антифрикционните свойства при различни периферни скорости на лагериращия вал; - машинното време необходимо за изработка на лагерните втулки.

АПРОБАЦИЯ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Основните резултати от изследванията са докладвани и публикувани в следните научни форуми и издания:

- Списания: „Известия на Съюза на учените – Варна”: 2’2007, 1’2008, 2’2009, 1’2010;
- Списания: „Машиностроителна техника и технологии”: 2’2009, 1’2010;
- Journal: Manufacturing and Industrial Engineering: №2 – 2012;
- Journal: CA Systems in production Planning: №1, V14 – 2013;
- Научна конференция „Младите в науката 2010”, Варна;
- Юбилейна научна сесия с международно участие 2011, 18-19 май 2011 г. ВВМУ „Н. Й. Вапцаров” – Варна;
- Договор № НП 45 / 2009 г. „Технологични възможности на калибровачното дорноване при изработване на бронзови лагерни втулки” – финансиран целево от държавния бюджет;

Част от получените резултати са приложени в производствени условия при изработка на бронзови лагерни втулки в „Микромет” АД – гр. Варна.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основните етапи от разработването на дисертационния труд са отразени в 9 публикации, списък на които е приложен в края на автореферата.

СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Глава 1 АНАЛИЗ НА ПУБЛИКУВАНИТЕ МАТЕРИАЛИ

1.1 Параметри на качеството на бронзови лагерни втулки

1.1.1 Основни принципи при проектиране на плъзгащи лагери

При проектиране на плъзгащи лагери размерите им зависят основно от средното контактно експлоатационно налягане и периферната скорост на вала. Повишаването на допустимите стойности на средното контактно налягане и периферната скорост на вала, би довело до намаляване на размерите на лагера, от където и до поевтиняване на готовата продукция.

Повишаването на твърдостта и контактната площ на обработените чрез дорноване лагерни повърхности, биха довели до повишаване на допустимите експлоатационни свойства на лагерите, а оттам и до поевтиняването им.

1.1.2 Изисквания към качеството на плъзгащите лагери

След анализ на стандартите, според които се произвеждат плъзгащи лагери, както и проспектите на най-големите производители на лагерни втулки, се достигна до следните показатели на качеството, които лагерите трябва да притежават:

- грапавост на лагерната повърхност $Ra < 2,5 \mu m$, в зависимост от режима на лагериране и серията на лагера;
- точност на размерите 7-ма степен;

- отклонения от формата на повърхнините – от 5 до 20 μm , в зависимост от номиналния размер на лагера;

1.1.3 Триене при експлоатация на плъзгащи лагери

Анализирана е математична зависимост, която показва понижаване на коефициента на триене за сметка на повишаването на границата на провлачане на лагерния материал.

Разгледана е връзката, между коефициента на триене и типа на контакт между лагеруващите повърхности, като в зоната на граничното и полу-течно триене имаме условия за понижаването му вследствие на ниската грапавост, която се постига чрез процеса на дорноване.

1.1.4 Износване при експлоатация на плъзгащи лагери

От изследването на процесите на износване, става ясно, че освен влиянието на експлоатационните фактори – скорост и налагане, също така износването се повлиява и от твърдостта на лагерния материал. Това показва, че повишаването на твърдостта, вследствие на дорноване, би довело до намаляване на износването по време на експлоатация, както и до увеличаване на продължителността на работа на съответния лагер.

1.1.5 Видове бронзи, физико-механични свойства и области на приложение

Разгледани са седем групи бронзови материали, като от четири от тях са избрани различни марки, които представляват извадки за всяка обособена група или:

- материал CuZn5Sn5Pb5 от групата на „Оловен червен месинг“;
- CuSn12 от групата на „Калаените бронзи“;
- CuSn10Pb10 от групата на „Оловно-калаените“;
- CuAl9Fe4 от групата на „Алуминиевите“ бронзи.

1.1.6 Механични свойства на медните сплави след повърхностна пластична деформация

Медните сплави, в частност бронзите, променят физико-механичните си свойства вследствие на приложена пластична деформация в студено състояние. При анализа на литературни източници засягащи тези изменения се наблюдава, че след повишаване на степента на пластично деформиране механичните свойства се изменят, както следва:

- повишаване на твърдостта на деформирания материал;
- повишаване на границата на провлачане и якостта на опън;
- понижаване на относителното удължение.

Повишаването на степента на пластично деформиране, от друга страна, довежда до по-нестабилни слоеве от гледна точка на рекристализационните процеси при повишени температури в деформираните слоеве.

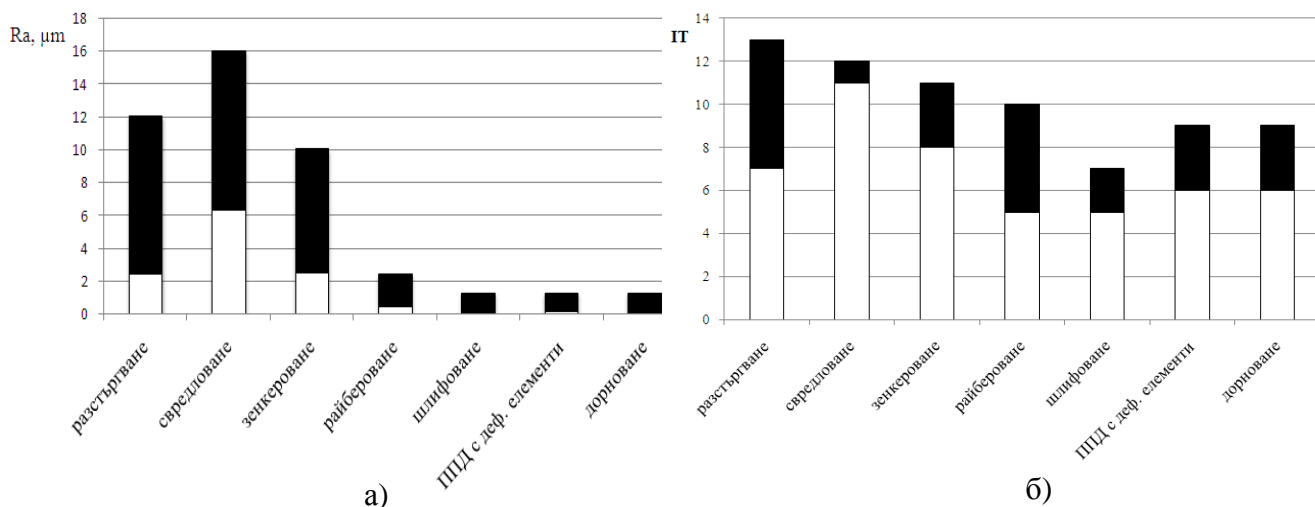
1.2 Технологични характеристики на процеса дорноване

1.2.1 Технологични предимства на процеса дорноване в сравнение с методите на обработка чрез рязане

Чрез дорноване, могат да се отстраняват отклонения от цилиндричност и кръглост на отворите получени в следствие на предшествващи дорноването

обработки, без използване на абразивни зърна, които влияят неблагоприятно при експлоатацията на детайлите.

Фиг. 1.1, разработена по данни от различни литературни източници показва възможностите на дорноването спрямо други, най-често срещани довършващи технологични процеси за обработка на вътрешни цилиндрични повърхнини.



Фиг. 1.1 Достижими параметри на качеството на обработени посредством различни методи вътрешни цилиндрични повърхнини: а) грапавост Ra , μm ; б) клас на точност на размерите IT ;

От фигурата се вижда, че грапавостта при обработка чрез дорноване е в границата $Ra < 1,5 \mu\text{m}$, а класа на точност на размерите в интервала 6-9 –ти клас.

При анализ на графични зависимости от различни литературни източници е установено, че процесът на дорноване довежда до понижаване на количеството на износения материал с 50 % в сравнение с методите на чисто разстъргване и с 25÷30 % спрямо методите на шлифоване и хонинговане.

1.2.2 Технологични предимства на процеса дорноване в сравнение с други методи на ППД

Характеристиките на обработените чрез методите на ППД повърхности не се различават от гледна точка на получена грапавост, твърдост, остатъчни напрежения и други, а главно по кинематичната схема за обработка и типа на контакт между инструмента и заготовката.

Обобщавайки разгледаното в тази част, можем да твърдим, че разгледаните по-горе методи за ППД на лагерни втулки (изработени от стомана или цветни метали) са равностойни на дорноването от гледна точка на деформиращите им характеристики.

Дорноването притежава съществено предимство пред тях, предвид формирането на грапавостта със следи успоредни на оста на втулката. Тези следи спомагат за подобряване на маслозадържането, което води до качествено по-добри трибологични характеристики на контакта с тези повърхнини.

Друг съществен довод за използването на дорноването като довършваща обработка на лагерни втулки е сравнително ниската себестойност на приложението на метода. Има се предвид, че особено в условията на дребно-сериеното производство, високата стойност на използваните в сравняваните случаи инструменти и съоръжения, няма да осигурят добра икономическа ефективност.

1.2.3 Особенности на процеса вътрешно дорноване

1.2.3.1 Технологични параметри на режима на дорноване

За основни параметри на режима на дорноване, по данни от литературните източници се приемат: - стегнатостта – i , mm (окръжната линейна деформация – $\lambda=i/d$); - ширината на цилиндричната част на инструмента; - относителната дебелина на стената на заготовката; - ъглите на деформиращия и задния конус;

1.2.3.2 Влияние на технологичните параметри на дорноване върху качеството на обработените повърхнини

Изменението на технологичните параметри на процеса дорноване, влияят на получаваните параметри на качеството по обработените повърхности. Изследваните литературни източници, показват връзката между качествените параметри на обработваните повърхнини и режимите на дорноване, само за стоманени образци.

Повишаването на стегнатостта, която се явява най-значим технологичен параметър, довежда до понижаване на грапавостта и повишаване на твърдостта и износоустойчивостта, до определена стойност, след което тези параметри се влошават.

Анализът на резултатите за стойностите на получената грапавост в зависимост от ъглите на деформиращия и обратния конус, показва достигането до стойност на ъглите, която е оптимална за процеса и отклоненията от тази стойност влошават получаваната грапавост.

1.2.3.3 Разпределение на напреженията в сеченията на дорнованата втулка в следствие от режима на дорноване

Напрегнатото състояние на участъка отделен от деформационната зона на дорнованата втулка, може да се характеризира с наличието на две напрежения на натиск и едно напрежение на опън.

Сложната деформация на метала при дорноване, предразполага към изменение на направлението на главните напрежения. Главните оси на напреженията имат различни направления във всичките три зони. Колкото намалява ъгъла на деформиращия и задния конус на дорника, толкова са по-равномерни деформациите. Намаляването на указаните ъгли допринася към увеличаване на повърхността на триене, следователно до повишаване на усилието на дорноване.

1.2.4 Основни предимства и технологични параметри на метода редуциращо дорноване по външните цилиндрични повърхнини на лагерните втулки

Процесът на редуциращо дорноване копира основните елементи на метода вътрешно дорноване. Дюзите - редуциращите дорници, съдържат в своята конструкция елементи идентични с тези на дорниците за вътрешно дорноване: - деформираща част; - задна част и калибровача част; Деформиращата част, най-често е конусна, като се срещат конструкции и с криволинейни образователни на деформиращата повърхност. Конструкциите на задната част са основно с конусни повърхнини, докато калибровачата част е цилиндрична или сферична повърхност.

Деформирането на повърхността, довежда до повишаване на опорната контактна площ по време на експлоатация. Предимството на подобни параметри при

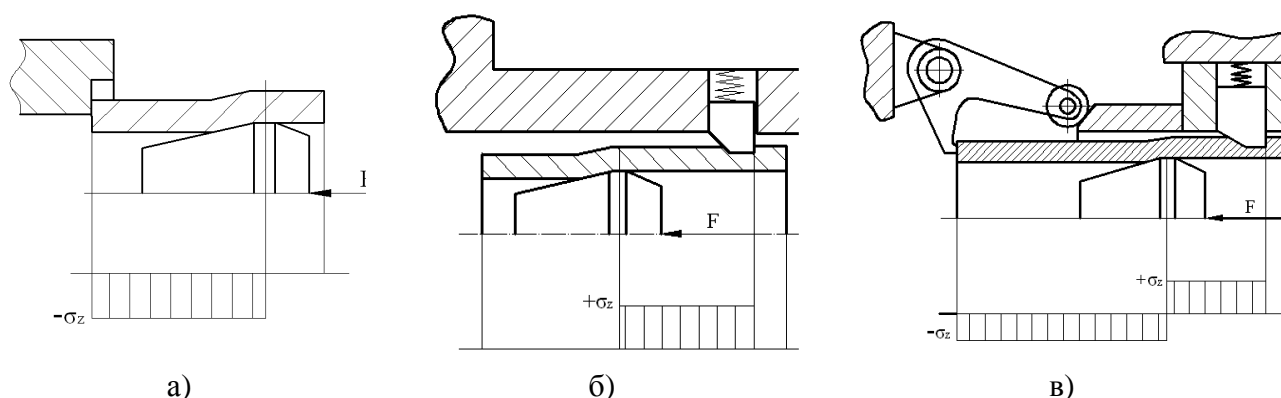
обработка на плъзгащи лагери биха довели до повишаване на топлопредаването между външната лагерна повърхност и корпуса, в който е монтиран лагера.

От друга страна по-високия топлообмен понижава топлинното натоварване, като осигурява на лагерната двойка: по-качествено смазване, по-ниско триене и по-малко износване. Друго предимство на метода е повишаването на усилието на разпресоване на сглобки със стегнатост, базирано на ниската грапавост по външната лагерна повърхност и голямата контактна площ.

1.2.5 Технологични схеми на дорноване

1.2.5.1 Технологични схеми на вътрешно дорноване

Класификацията на схемите, по които се осъществява процесът дорноване, включват главно вида на напрегнатото състояние на заготовките, по които могат да се разделят на три схеми показани на фиг.1.2.



Фиг.1.2 Основни схеми на дорноване: а) натисково; б) опъново; в) комбинирано;

Свободното дорноване представлява процес, при който няма ограничение на деформациите по външния диаметър. За тънкостенни детайли ($D/d \leq 1,2$; $L \geq 10 \cdot D$) се извършва несвободно дорноване, а за по-стабилните заготовки ($D/d \geq 1,2$; $L \leq 10 \cdot D$) се изпълняват схемите на свободно дорноване.

В зависимост от посоката на дорноване се различават две схеми, съответно протегляне и прошиване. При съотношение $L/d < 7$, детайлите се обработват по метода на прошиването, а при $L/d > 7$ по метода на протеглянето, където L и d съответно дължина и вътрешен диаметър на втулката.

Плъзгащите лагери, като детайли от типа на втулките със стандартни конструктивни размери, които лежат в границите на $D/d = 1,2 \div 1,6$ и $L/d \leq 3,5$ се обработват по метода на свободно дорноване чрез прошиване (фиг.1.2–а).

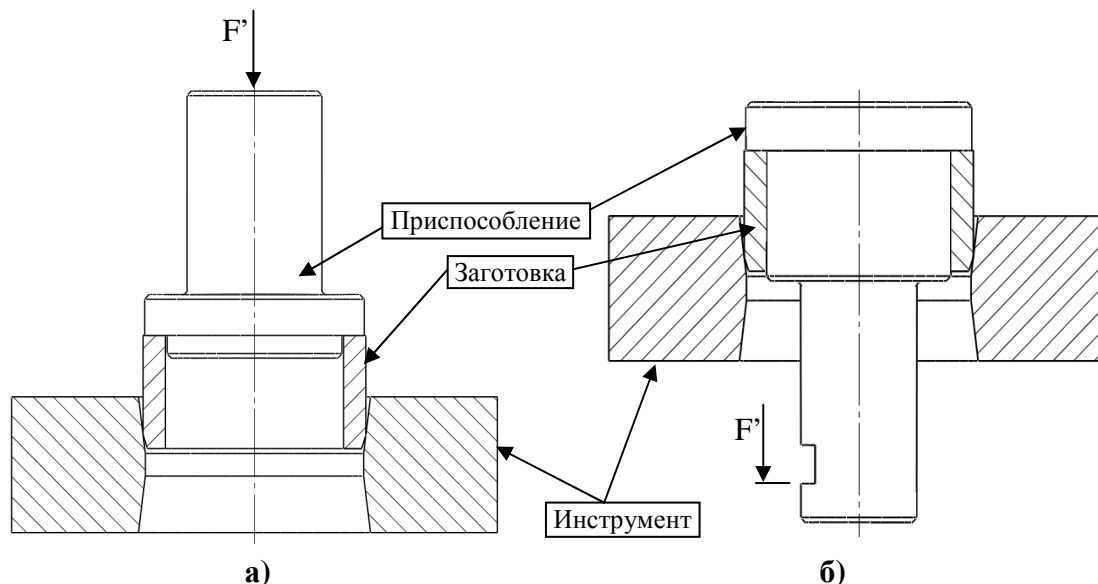
1.2.5.2 Технологични схеми на външно дорноване

Класифицирането на технологичните схеми на външно дорноване може да се направи според това дали вътрешната повърхност на заготовката е свободна или ограничена, според който признак могат да се характеризират двете схеми показани на фиг.1.3.

Фиг.1.3 – а, показва схема на свободно външно дорноване, по която могат да се обработват тръбни заготовки със сравнително големи дебелини. Втората схема, фиг.1.3 – б, показва несвободно външно дорноване, използването на което е необходимо при обработка на тънкостенни заготовки за лагерни втулки.

От друга страна, схемата на несвободно редуциращо дорноване може да се раздели на няколко вида в зависимост от предварителната хлабина между приспособлението и заготовката. Общо тези частни случаи могат да бъдат следните три типа:

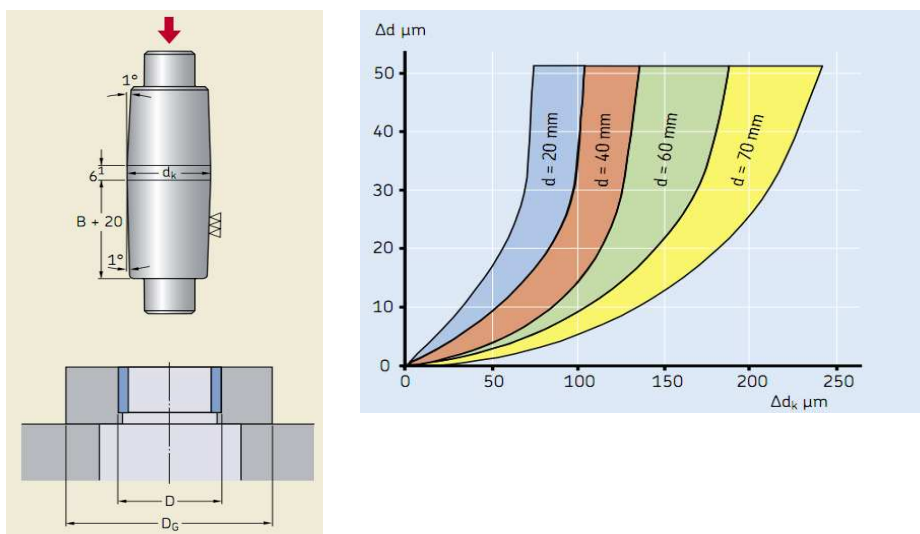
- с хлабина между приспособлението и заготовката – при обработка с големи стегнатости или понижени изисквания към вътрешната повърхност;
- преходна сглобка между приспособлението и заготовката – при необходимост от висока точност по вътрешната повърхност след външното дорноване;
- с предварителна стегнатост – при повишени изисквания към точността на вътрешната повърхност на втулката, както и висока степен на уякчаване;



Фиг.1.3 Схеми на редуциращо дорноване: а) без ограничаване по вътрешната повърхност; б) с ограничаване по вътрешната повърхност;

1.3 Литературни източници засягащи дорноването на бронзови лагерни втулки

В каталози на SKF е засегнат въпроса за технологичните размери на дорноващите елементи според номиналния диаметър на лагера фиг.1.4.



Фиг.1.4 Дорноване на композитни PTFE лагерни втулки по данни на SKF [104, 105];

Както се вижда от фигурата процесът дорноване отговаря на гореспоменатия метод на несвободно дорноване, като за параметрите на ограничителната повърхност има изисквания, да е изработен от стомана със съотношение на външния диаметър D_G към вътрешния D по-голямо от две. За качествата на дорника се изисква да притежава твърдост ≥ 50 HRC и грапавост по повърхността $Rz=1\mu m$, ширина на цилиндричната част на инструмента $b=6mm$.

1.4 Изводи

1. Установено е, че изискванията към качеството на повърхнините на лагерните втулки работещи в режим на гранично, течно и полутечно триене са високи и достигането им чрез най-разпространените методи на довършваща обработка – разстъргване, райбероване, претриване и др. се явяват нископроизводителни и неефективни от гледна точка на параметрите на качеството на обработените повърхнини.

2. Направения обзорен анализ показва, че обработката на вътрешните експлоатационни повърхнини на бронзови лагерни втулки чрез методите на ППД използващи въртящи се сферични или ролкови деформиращи елементи, включително и хидропластично ППД, предполагат висока себестойност на необходимото оборудване, както и нерационално направление на посоката на грапавостта, което предполага ниски трибологични характеристики на тези повърхнини.

3. Не са открити изследвания, които да имат за цел определяне на технологичните режимни параметри на дорноване в зависимост от очакваните качествени характеристики за бронзови материали.

4. Не е открита методика за еднозначно определяне на стегнатостта при дорноване, като се твърди, че трябва да се определя експериментално за всеки конкретен случай.

5. Сравняването на метода дорноване с други методи на ППД, създава предпоставки за понижаване на машинното време необходимо за обработка чрез дорноване.

6. Не са открити изследвания за последователното прилагане на ППД обработка на лагерни втулки посредством външно редуциращо дорноване и дорноване на отвора, както върху формиращите се параметри на качеството, така и върху експлоатационните им характеристики.

1.5 Анализ на темата, цел и задачи на изследването

Цел на настоящата работа е изследване на технологичните възможности на различни схеми на довършваща обработка на бронзови втулки посредством дорноване, с цел оптимизация на параметрите на качеството и експлоатационните характеристики на обработените повърхнини.

За постигането на целта си поставяме следните задачи:

1. Да се изследват теоретично отклоненията във формата на обработваната заготовка, като резултат от конструктивните размери на дорноващите елементи, технологичните режимни параметри на процеса и схемата на обработка.

2. Да се изследва грапавостта, точността, отклоненията във формата и микротвърдостта по повърхностния слой на обработените чрез вътрешно и външно редуциращо дорноване бронзови лагерни втулки.

3. Да се изследва влиянието на режимите на външно редуциращо и дорноване на отвора на лагерни втулки, върху параметрите на качеството и експлоатационните им характеристики, като се обосноват получаващите се технологични предимства.

4. Да се сравнят експлоатационните характеристики на обработени с различни довършващи методи бронзови лагерни втулки с тези обработени чрез дорноване и да се обоснове възможното време на експлоатацията им в условията на плъзгащи лагери.

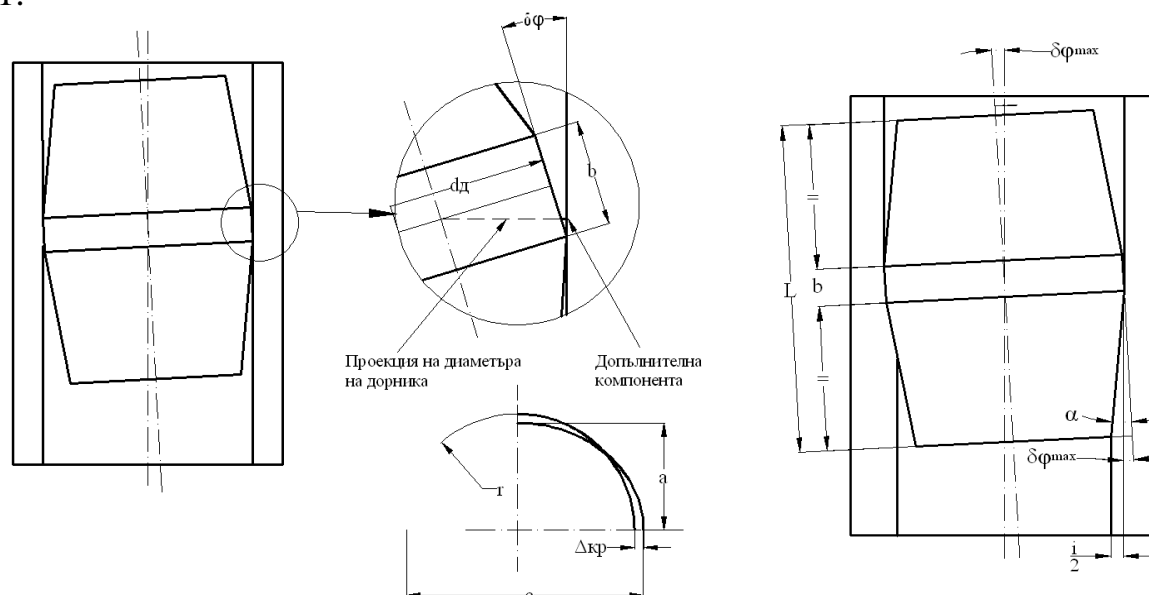
5. Да се изследва теоретично и експериментално машинното време необходимо за осъществяване на процес дорноване и резултатите да се сравнят с машинните времена за обработка чрез други довършващи методи.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

2.1 Отклонения от формата в напречно сечение на обработваната заготовка в зависимост от технологичните параметри на режима на дорноване

При анализиране на геометричните параметри на наклонен спрямо геометричната ос на обработваната заготовка дорник, са определени теоретични стойности на отклоненията от кръглост, които могат да се получат.

Методиката за определянето им изхожда от това, че при изкривяване на дорника спрямо обработваната втулка, разреза в напречното сечение ще представлява елипса, на която малката ос е равна на диаметъра на дорника, а голямата на проекцията на диаметъра спрямо напречното сечение на втулката и допълнителна компонента зависи от конструктивните размери на дорника фиг.2.1.



Фиг.2.1 Схеми за определяне на отклоненията от кръглост и максималния възможен ъгъл на изкривяване на дорника спрямо обработваната заготовка;

Основните геометрични зависимости, които могат да се изведат от разгледаната фигура са:

$$\delta\varphi_{max} = \tan^{-1}(L - b) \cdot \frac{\tan(\alpha)}{L} - \sin^{-1} \frac{i}{\sqrt{L^2 + (L - b)^2 \cdot \tan^2 \alpha}} \quad (2.1)$$

$$\Delta_{кр} = \frac{2 \cdot d_{\perp}}{\cos \delta\varphi} - 2 \cdot d_{\perp} + \sin \delta\varphi (b - d_{\perp} \cdot \tan \delta\varphi) \quad (2.2)$$

Където, $\Delta_{кр}$ – отклонение от кръглост, mm;

$\delta\varphi$ – ъгъл на изкривяване на дорника спрямо обработваната заготовка, deg;

$\delta\varphi_{\max}$ – максимално възможен ъгъл на изкривяване на дорника, deg;

d_D – диаметър на дорника, mm;

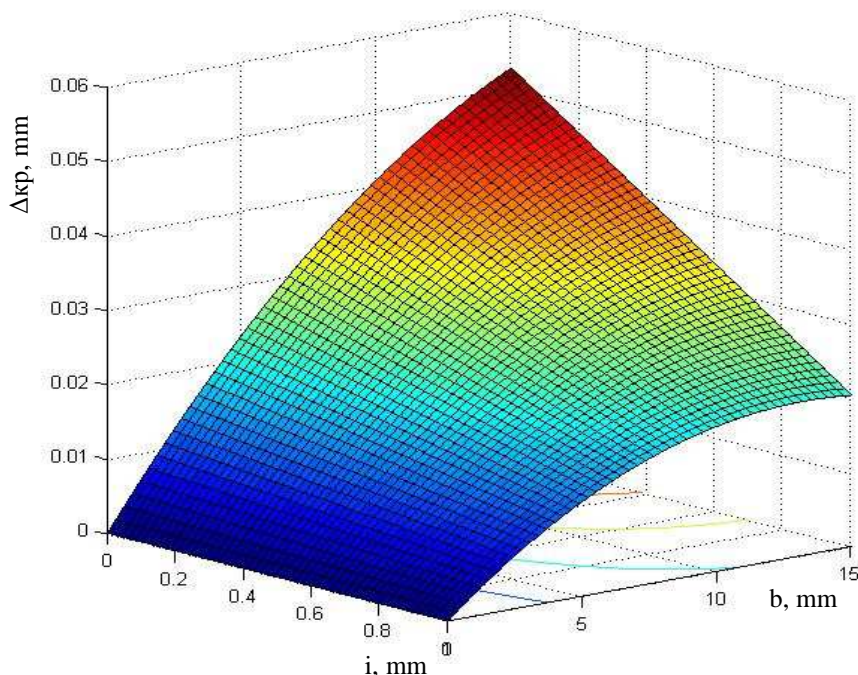
b – ширина на цилиндричната част на дорника, mm;

L – конструктивна дължина на дорника, mm;

α – ъгъл на деформиращия конус на дорника, deg;

i – абсолютна стегнатост при дорноване, mm;

От анализа на зависимости (2.1) и (2.2) става ясно, че най-голямо влияние върху отклоненията от кръглост оказват ширината на цилиндричната част на инструмента, ъгълът на деформиращия конус на дорника и стегнатостта.



Фиг.2.2 Изменение на отклоненията от кръглост $\Delta_{кр}$, mm в зависимост от стегнатостта и ширината на цилиндричната лентичка по теоретична зависимост (2.2), при $\alpha=3^\circ$ и $d=30$ mm, в случай в който не се използва приспособление за дорноване;

При повишаването на ширината на цилиндричната част на дорника максималните възможни отклонения от кръглост нарастват, докато при повишаване на стегнатостта отклоненията намаляват (фиг.2.2). Също така се вижда, че намаляването на ширината на цилиндричната част на дорника, както и частния случай когато тя е равна на нула, имаме нулеви отклонения от кръглост, което потвърждава ефективността от използването на сферични дорноващи елементи в поточните линии за дорноване. Проблемата обаче при сферичните повърхности е по-бързото им износване поради по-малката контактна площ между инструмента и заготовката.

Поради факта, че изследваната зависимост няма отношение към дебелината на стената на заготовката, разликата в механичните свойства на материала, както и други систематични и случайни явления по време на дорноване, се налага проследяване на отклоненията от кръглост при реалния процес.

2.2 Сравнение между машинните времена необходими за обработка на вътрешни цилиндрични повърхнини чрез различни довършващи методи

Машинното време за един преход на инструмента се изчислява в зависимост от режимите на технологичния процес. Те от своя страна зависят както от материала на обработваната заготовка, така и от вида на обработката, степента на охлаждане и др.

Най-разпространените методи за довършваща механична обработка на вътрешни цилиндрични повърхнини на лагерни втулки изработени от бронзови материали са: разстъргване, разсвредловане и райбероване.

Машинното време T_M , необходимо за осъществяване на довършителния преход за всички изброени методи, включително и ППД със сферични деформиращи инструменти, може да се представи със следната зависимост (2.3):

$$T_M = \frac{L}{S \cdot n}, \text{ min} \quad (2.3)$$

Където:

n – честота на въртене на заготовката (инструмента), min^{-1} ;

S – надлъжно подаване, mm/rev ;

L – дължина на обработваната повърхност, mm ;

От друга страна за процесите на дорноване (вътрешно и външно) и протегляне (прошиване), машинното време се определя по следната зависимост (2.4):

$$T_{M1} = \frac{L}{V_d}, \text{ min} \quad (2.4)$$

Където:

V_d – скорост на дорноване, mm/min ;

Ако представим отношението на машинното време необходимо за обработка чрез ППД със сферични деформиращи елементи върху машинното време необходимо за обработка чрез дорноване, ще получим:

$$\Delta T_M = \frac{T_M}{T_{M1}} = \frac{V_d}{S \cdot n} \quad (2.5)$$

Където:

ΔT_M – отношение между машинните времена за двата довършващи технологични процеса;

Оборотите на заготовката n замества с периферната скорост на повърхността на заготовката (инструмента) и получаваме:

$$\Delta T_M = \frac{V_d \cdot \pi \cdot d}{S \cdot V_3 \cdot 1000} \quad (2.6)$$

Където:

V_3 – периферната скорост на повърхността на заготовката, m/min ;

Повишаването на скоростта на рязане и надлъжното подаване на инструмента, довеждат до понижаване на съотношението между двете машинни времена (фиг.2.3). Обработката на вътрешна повърхност (с диаметър 40 mm) със скорост на рязане (деформиране) $V_3=50 \text{ m/min}$ и подаване на инструмента $S=0.2 \text{ mm/rev}$, довежда до разлика между машинните времена на двата процеса с 25 пъти.

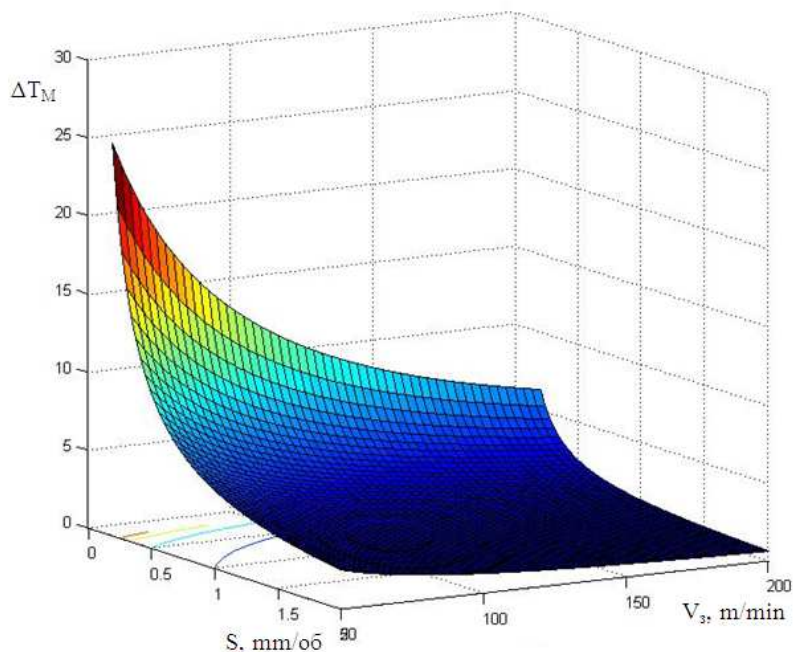
От друга страна, надлъжното подаване на инструмента има отношение към получаваната грапавост при процеса на струговане и деформиране със сфера, което се изразява чрез следната приблизителна зависимост:

$$S = 2 \sqrt{d_{\text{деф}} \cdot Rz} \quad (2.7)$$

Където:

Rz – грапавост, която трябва да се достигне, μm ;

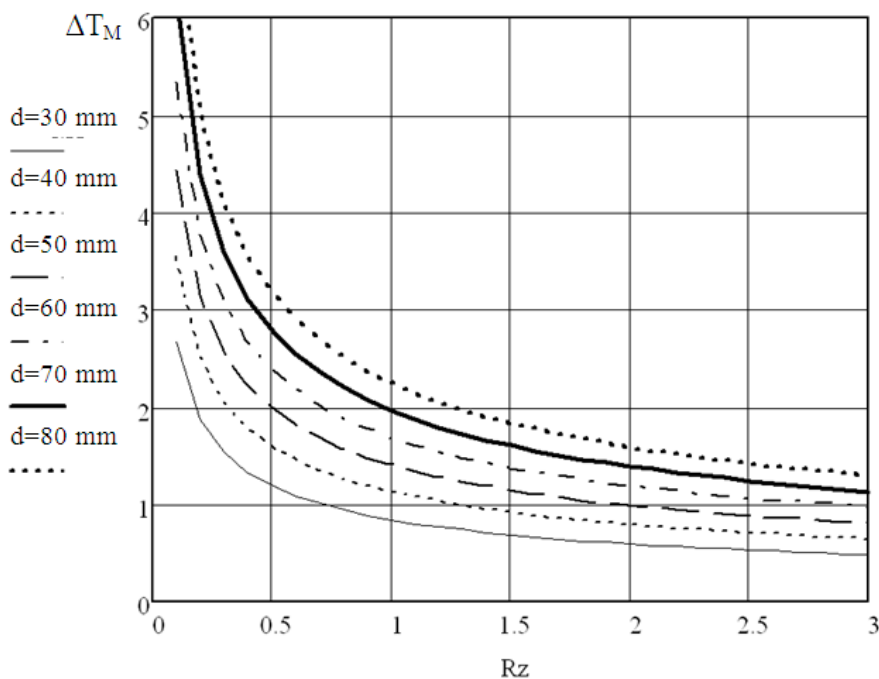
$d_{\text{деф}}$ – диаметър на деформиращия елемент или функция на радиуса на ножа, mm ;



Фиг.2.3. Изменение на съотношението между машинното време ΔT_M в зависимост от скоростта на рязане и надлъжното подаване при диаметър на обработваната повърхност $d=40 \text{ mm}$;

Ако се замести стойността на подаването в зависимостта за отношението между машинните времена имаме:

$$\Delta T_M = \frac{V_d \cdot \pi \cdot d}{2000 \cdot V_z \cdot \sqrt{d_{\text{деф}} \cdot Rz}} \quad (2.8)$$



Фиг.2.4 Изменение на съотношението между машинното време ΔT_M , необходимо за ППД със сферични елементи в сравнение с метода на дорноване, в зависимост от получаваната грапавост и диаметра на обработваната повърхност

Фиг. 2.4 показва изменението на съотношението между машинните времена ΔT_M , което изразява машинното време в пъти повече, необходимо за ППД с със сферични деформиращи инструменти в сравнение с метода на дорноване, в зависимост от изискваната грапавост към обработваната повърхност, при диаметър на деформиращата сфера $d_{\text{деф}}=5 \text{ mm}$ и скоростта на пластично пластично деформиране, според осреднени данни от литературните източници, $V_3 = 100 \text{ m/min}$.

Вижда се, че за да се достигне грапавост $Rz=0,5 \text{ }\mu\text{m}$ при диаметър на обработваната заготовка 30 mm машинното време за обработка чрез ППД със сферични елементи е 1.25 пъти повече от времето за дорноване, а ако заготовката е с диаметър 80 mm времето се повишава с 3.2 пъти.

Фигурата показва, че повишаването на изискванията към повърхността на обработвания отвор води до повишаване на машинното време необходимо за обработка спрямо обработката чрез дорноване, докато при процеса на дорноване такава закономерност не съществува.

2.3 Изводи базирани на теоретичните изследвания

1. Определени са отклоненията от кръглост по вътрешната повърхнина на обработената заготовка, вследствие от анализа на взаимното разположение на дорника и обработваната заготовка, както и техните геометрични параметри.

2. Обосновани и конкретизирани са технологичните предимства и възможности на схемата на ППД чрез дорноване, при съпоставянето и със съществуващите методи на довършваща обработка с или без ППД.

Глава 3 ИЗПОЛЗВАНИ МЕТОДИКИ, ИНСТРУМЕНТИ И МАТЕРИАЛИ

3.1 Планиране на експериментите, оптимизационни параметри и фактори

Режимните технологични параметри на дорноването, влияещи главно върху качествените и експлоатационни характеристики на обработваните детайли, могат да се степенуват в следния ред на рангова корелация, базиран на литературния обзор, направен в първата част на работата.

Табл. 3.1 Рангова корелация на технологичните параметри на дорноване според литературния обзор

№	Технологичен параметър	Означ ение	Стойности за бронзови материали	Ранг
1	Стегнатост	$i, \text{ mm}$	0,1 - 1	1
2	Ширина на цилиндричната част на дорника	$b, \text{ mm}$	2 - 6	2
3	Ъгъл на деформиращия конус	$\alpha, \text{ deg}$	2 - 4	3
4	Относителна дебелина на стената	m	1,1 – 1,7	4
5	Диаметър на дорника	$d, \text{ mm}$	-	5
6	Модул на еластичност на материала	$E, \text{ GPa}$	76 - 115	6
7	Твърдост на заготовката	$HB_{\text{изх}}$	60 - 125	7

След степенуване на технологичните параметри, влияещи върху качествените параметри на процеса дорноване, се конкретизират следните стойности за които провеждаме експериментални изследвания табл.3.2.

Изработени са по 5 бр. дорници за 4 различни типоразмера съответно $d=30, 35, 40, 50 \text{ mm}$ с различни ширини на цилиндричните части, стойностите на които са показани в табл.3.2. Стегнатостта се изменя в зависимост от диаметъра на заготовките, като размерите им се постигат чрез разстъргване.

Табл. 3.2 Технологични режимни параметри на дорноване за различните видове бронзови материали

Мат.	CuZn5Sn5Pb5			CuZn5Sn5Pb5			CuSn10Pb10			CuSn12			CuAl9Fe4	
d/D (m)	30/40 (1,33)			35/55 (1,57)			40/50 (1.25)			50/62 (1,24)			30÷40/50 (1,33-1.67)	
№	i, mm	λ, %	b, mm	i, mm	λ, %	b, mm	i, mm	λ, %	b, mm	i, mm	λ, %	b, mm	i, mm	d, mm
1	0.18	0.6	0.76	0.18	0.51	0.76	0.35	0.87	5	0.18	0.36	0.76	0.18	28
2	0.3	1.0	2	0.3	0.86	2	0.4	1.0	5	0.3	0.60	2	0.3	30
3	0.6	2.0	5	0.6	1.71	5	0.75	1.87	5	0.6	1.20	5	0.6	35
4	0.9	3.0	8	0.9	2.57	8	0.84	2.8	5	0.9	1.80	8	0.9	40
5	1.02	3.4	9.24	1.02	2.91	9.24	1.15	2.87	5	1.02	2.04	9.24	1.02	42

С изясняването на тези особености на технологичния процес се провежда процес на дорноване, плана на който е показан на фиг.3.1. Плана на експеримента и резултатите от получените експерименти са обработени с програма за планирани ротатабелни експерименти Explan ver.1.1.3 разработена в кат. ТМММ при ТУ-Варна.

При материал на заготовките CuAl9Fe4, вместо да се изследва влиянието на ширината на цилиндричната част на инструмента, като фактор е заложена големината вътрешния диаметър при еднакъв външен диаметър. По този начин се изследва влиянието на относителната и абсолютната дебелина на стената на заготовката върху качествените параметри на обработените детайли.

№ експер.	Код. фактори		План на експеримента		Данни от експеримента		Стойности на коеф.	Дисперсии на коеф.
	X1	X2	i, [mm]	b, [mm]	опт пар. [°] Уизч.	Разлика%		
1	-1	-1	0.30	2.00			b0=	Δb0=
2	1	-1	0.90	2.00			b1=	Δb1=
3	-1	1	0.30	8.00			b2=	Δb2=
4	1	1	0.90	8.00			b12=	Δb12=
5	-1.414	0	0.18	5.00			b11=	Δb11=
6	1.414	0	1.02	5.00				
7	0	-1.414	0.60	0.76			b22=	Δb22=
8	0	1.414	0.60	9.24				
9	0	0	0.60	5.00				
10	0	0	0.60	5.00				
11	0	0	0.60	5.00				
12	0	0	0.60	5.00				
13	0	0	0.60	5.00				
Дисперсия на грешката от опитите на нулево ниво :							[S _e]² =	

Фиг.3.1 План на експеримента за изследване влиянието на технологичните параметри на дорноване, върху качествените характеристики на обработените детайли;

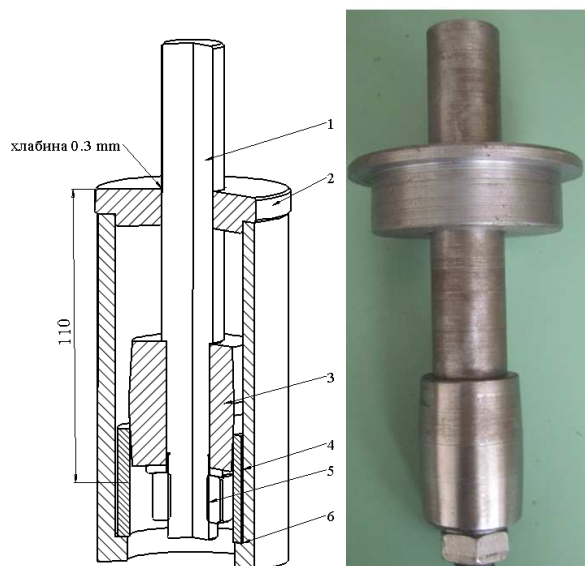
3.2 Експериментална екипировка за провеждане на натисково свободно дорноване

При процеса на натисково свободно дорноване имаме базиране на заготовка по едно от челата без наличие на ограничения по външната и повърхност. Необходимо за процеса на дорноване е наличието на ограничител, който да направлява тялото на дорника (фиг.3.2) за запазване на съсието между дорника и обработваната заготовка.

Фиг.3.2, показва схематично какви са основните елементи на експерименталната установка използвана за провеждане на процес на натисково свободно дорноване.

С 1 е означено, тяло върху което е закрепен дорноващят елемент 3. Тялото преминава през ограничител 2, който осигурява необходимата съосност, между

дорника 3 и заготовката 4. Заготовката се базира върху корпуса на експерименталната установка б без допълнително закрепване.



Фиг.3.2 Експериментална установка за дорноване на бронзови втулки;

3.3 Методика за измерване на грапавост и контрол на износването

3.3.1 Методи за контрол на грапавостта

За измерване на микрограпавостта и регистрирането на профилограми, за целите на настоящата работа, е използван профилограф („ПРОФИЛОГРАФ-ПРОФИЛОМЕТР МОДЕЛЪ 250”). Възможностите на използвания профилограф позволяват да се определят основните параметри на профила на микрограпавостта (R_a , R_z , R_{max} , R_q и относителната опорна дължина на носещия профил $P(z)$). Стойностите са измерени за всички експериментални образци преди и след провеждане на процес дорноване.

Според направения литературен обзор, относно влиянието на изходната грапавост върху получената след дорноване е взимстван параметър δR , който отчита понижаване на микрограпавостта.

$$\delta R = \frac{R_{\text{пол}}}{R_{\text{изх}}}; \delta R_a = \frac{R_{a\text{пол}}}{R_{a\text{изх}}}; \delta R_q = \frac{R_{q\text{пол}}}{R_{q\text{изх}}} \quad (3.1)$$

3.3.2 Методи за контрол на износването

Подходящ метод, чрез който може да се изследва обема на износения по време на експлоатация материал, е чрез измерване на теглото на втулката преди и след процес на експлоатация, като разликата в теглата разделена на специфичното тегло на бронзовия материал дава обема на износване:

$$V = \frac{G_{\text{преди}} - G_{\text{след}}}{\rho_{\text{бронз}}} \quad (3.2)$$

Където:

$G_{\text{преди}}$ – тегло на лагерната втулка преди износване, mg;

$G_{\text{след}}$ – тегло на лагерната втулка след износване, mg;

$\rho_{\text{бронз}}$ – специфично тегло на бронз ($\sim 8.86 \text{ g/cm}^3$ (mg/mm^3));

Определянето на коефициента на износване се извършва след провеждане на експеримент по следната зависимост:

$$K_{\text{изн}} = \frac{H \cdot V_{\text{изн}}}{F \cdot V \cdot t_{\text{екс}}} \quad (3.3)$$

От зависимостта характеризираща адхезионното износване може да се достигне до зависимост, по която да се изчисли максималното време на експлоатация, като се използват допустимото износване на лагерната втулка след експериментално получен коефициент на износване и експлоатационните параметри на плъзгане:

$$t_{\text{max}} = \frac{H \cdot V_{\text{доп}}}{V \cdot F \cdot K_{\text{изн}} \cdot 60} \quad (3.4)$$

Където t_{max} е максималното време на експлоатация на лагера, min;

Периода на износване най-често се разделя на три зони: интензивно износване в етапа на разработване на работните повърхности, пропорционално износване в периода на нормална експлоатация и критично износване в края на експлоатационния период. Ако приемем, че общия максимален обем на износения материал в първите два периода на износване е W_S , и като се спази пропорционалния характер в периода на нормална експлоатация, може да се запише следната зависимост:

$$W_S = W_A + W_P = W_A + K_W \cdot P \cdot T \cdot V \quad (3.5)$$

Където: W_A – обем на износения повреме на сработване материал, mm^3 ;

W_P – обем на износения повреме на експлоатация материал, mm^3 ;

K_W – коефициент на износване, $\text{mm}^3/\text{MPa} \cdot \text{m}$;

P – средно експлоатационно налягане, MPa;

V – периферна скорост на вала, m/s;

T – период на експлоатация, s;

Максималното време на експлоатация (T_{max}), може да се представи чрез максималния допустим обем на износване W_{max} и обема износен при сработване W_A :

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{max}} - W_A}{K_W \cdot P \cdot V} \quad (3.6)$$

Ако сравним максималното време на експлоатация за всеки отделен образец и приемем, че налягането и скоростта са равни то при един и същ коефициент на пропорционално износване може да се запише:

$$\Delta T_2 = \frac{T_{\text{max}1} - T_{\text{max}2}}{T_{\text{max}1}} \cdot 100\% = \frac{W_{A2} - W_{A1}}{W_{\text{max}} - W_{A1}} \quad (3.7)$$

Където:

$T_{\text{max}n}$ – максимално време на експлоатация на съответния образец, h;

ΔT_2 – процентна разлика между максималното време на експлоатация на втория образец спрямо първия, %;

Чрез тази зависимост могат да бъдат сравнени периодите на експлоатация на образци обработени, чрез различни довършващи технологични процеси на базата единствено на количеството износен материал през периода на сработване W_A .

3.4 Микротвърдост и дълбочина на уякчаване в наклепаните слоеве

Челата на образците подложени на измерване на микротвърдост са обработени по стандартните методики за третиране на микрошлифове. Измерването се

осъществи с помощта на микроскоп от тип “Eрityр 2” с приставка за измерване на микротвърдост HV0.05 “Нanneman”.

3.5 Методика за измерване на отклоненията от кръглост и цилиндричност

Допуска се, че отклоненията от кръглост се изразяват чрез овалността на отвора в съответното сечение, базирано на извършените теоретични изследвания. За отклоненията от цилиндричност се приема частния случай на седлообразност, базирано на краищния дефект, който се получава при входа и изхода на инструмента.

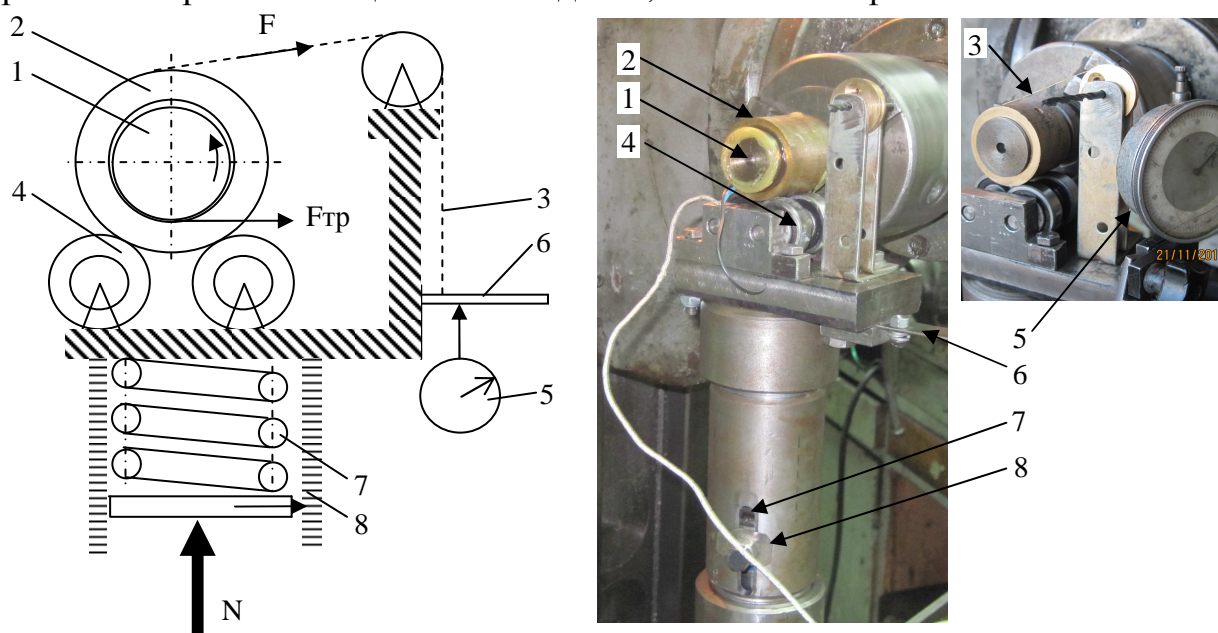
Извършени са достатъчно голям брой измервания на диаметъра на отвора в пет сечения на втулката. Те са изпълнени с достатъчно малка стъпка, за да твърдим, че измереното отклонение е по схема заместваща кръглограмата. Половината от разликата между измерения най-голям и най-малък диаметър представлява отклонението от кръглост изразено чрез овалността в съответното сечение. Най-голямата измерена овалност от всичките пет контролирани сечения представлява отклонението от кръглост на контролираната втулка.

Измерването на достатъчен брой сечения позволява да се определи отклонението от цилиндричност, което най-често се проявява в седлообразност. Половината от разликата между измерения най-голям и най-малък вътрешен диаметър на измерванията в петте сечения, представлява отклонението от цилиндричност (седлообразността) на отвора на втулката. Тези характеристики се използват като оптимизационни параметри при експерименталните изследвания за качеството на обработваните чрез дорноване лагерни втулки.

Измерванията са извършени с помощта на индикатор-вътромер с точност на измерванията $1 \mu\text{m}$.

3.6 Методика за измерване на коефициента на триене и триещия момент

За експериментална установка, с помощта на която определяме коефициента на триене е избрана и осъществена следната, показана на фиг.3.4 схема.



Фиг. 3.4 Схема и снимка на експерименталната установка разработена за определяне на коефициента и момента на триене;

След развъртане на вала, силата на триене създадена между него и лагерната втулка се стреми да я завърти в същата посока, а закрепената за втулката нишка се

измества и деформира пружинната пластина до определена степен. Измерването на степента на деформиране на пружинната пластина е пропорционално на създадената в нишката реакция. Ако приемем, че D и d са съответно външният и вътрешен диаметър на втулката за определяне на момента и коефициента на триене имаме:

$$T_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot \frac{d}{2} = F \cdot \frac{D}{2} \quad (3.8)$$

Където:

$T_{\text{тр}}$ – момент на триене, N.mm;

$F_{\text{тр}}$ – сила на триене, N;

F – измерена сила в нишката, N;

D, d – съответно външен и вътрешен диаметър на втулката, mm;

За определяне на коефициента на триене с помощта на разработената експериментална установка след използване на основната зависимост за триенето получаваме:

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} = \frac{F \cdot D}{N \cdot d} \quad (3.9)$$

3.7 Изводи към методиките използвани в изследването

1.Разработен е модел на планиран експеримент, позволяващ получаването на математичен модел на зависимостта на параметрите на качеството на обработените посредством дорноване по вътрешната и външната повърхнини, както и съответните им технологични фактори.

2.Проектирани и изработени са експериментална установка и оборудване, които създават възможност за осъществяване на процес на натисково свободно дорноване при изменение на основните технологични параметри на процеса.

3. Изведена е теоретична зависимост, която позволява изчисляване на обема на износения материал в процес на експлоатация на втулките от сканираните профилограми по повърхнините на експерименталните образци.

4.Изведена е зависимост, чрез която може да се сравни времето на експлоатация на обработени чрез различни довършващи методи повърхности, базиращо се на количеството износен материал в периода на сработване.

5. Проектиран и изработен е стенд прилагаш стандартни методи за контрол на параметрите на контакт и триене, с помощта на който да се регистрира коефициента на триене по време на експериментите.

Глава 4 КАЧЕСТВО НА ОБРАБОТЕНИТЕ ЧРЕЗ ДОРНОВАНЕ ДЕТАЙЛИ

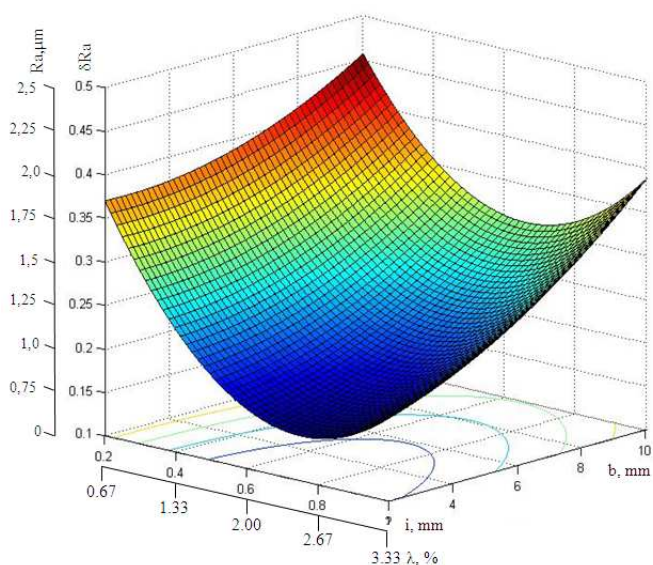
4.1 Изменение на параметрите на грапавостта след обработка на бронзови втулки чрез дорноване

Следващите фигури показват, изменението на параметъра δRa в зависимост от технологичните режимни параметри на дорноване.

На фиг.4.1 – а, е показано изменението на δRa в зависимост от стегнатостта и ширината на цилиндричната част на дорника b за образци от материал $CuZn5Sn5Pb5$ при $m=1.33$. Повишаването на стегнатостта до 0,7 mm, понижава получаваната грапавост, като при тази стойност има минимум. Повишаването на b , повишава стойностите на грапавостта, като при по-ниски стегнатости влиянието ѝ е по-малко. Минималната грапавост, до която може да се достигне за този типоразмер на

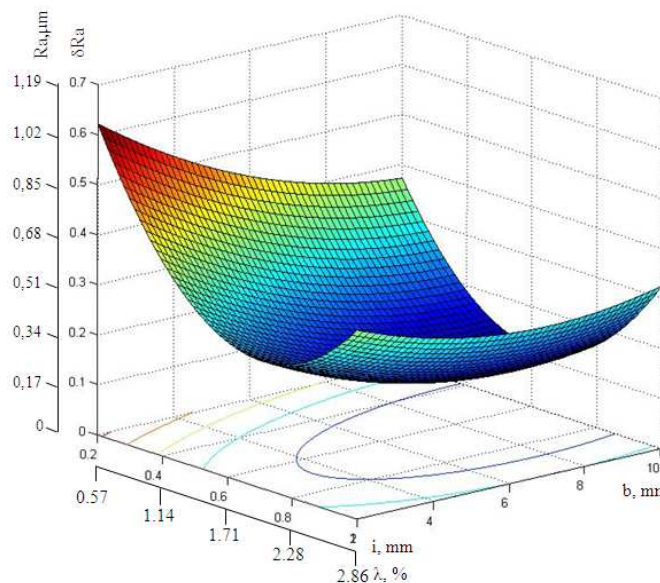
заготовките е $Ra=0,75 \mu\text{m}$, при дорноване на заготовки със стегнатост $0,7 \text{ mm}$ и ширина на цилиндричната част на инструмента 2 mm , като изходната грапавост Ra е около $5 \mu\text{m}$. Става ясно, че дорноването с тези режимни параметри, понижава грапавостта по повърхността със 7 пъти.

На фиг.4.1 – б, се вижда минимална достигната грапавост $Ra=0,25 \mu\text{m}$, получена при дорноване със стегнатост $0,6 \text{ mm}$ при ширина на цилиндричната част на дорника 10 mm за заготовки от бронз CuZn5Sn5Pb5 при $m=1.57$. Абсолютните стойности на грапавостта са значително по-ниски от предните, дължащо се на ниската средна стойност на изходната грапавост - $Ra=1,7 \mu\text{m}$. Може да се отбележи, че отново грапавостта се е понижила със 7 пъти.



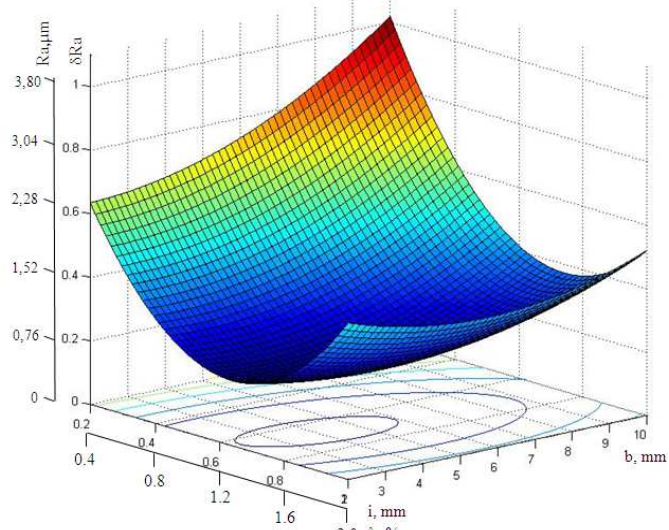
$$\delta Ra = 0,5732 - 1,11 \cdot i - 0,0118 \cdot b + 0,0167 \cdot i \cdot b + 0,716 \cdot i^2 + 0,0016 \cdot b^2$$

а)



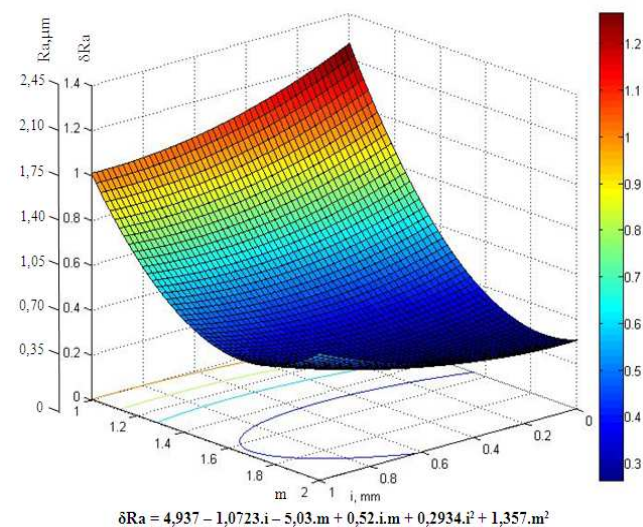
$$\delta Ra = 1,10842 - 2,088 \cdot i - 0,07555 \cdot b + 0,03083 \cdot i \cdot b + 1,43451 \cdot i^2 + 0,003182 \cdot b^2$$

б)



$$\delta Ra = 1,1065 - 2,7274 \cdot i - 0,00851 \cdot b - 0,0556 \cdot i \cdot b + 2,2181 \cdot i^2 + 0,00563 \cdot b^2$$

в)



$$\delta Ra = 4,937 - 1,0723 \cdot i - 5,03 \cdot m + 0,52 \cdot i \cdot m + 0,2934 \cdot i^2 + 1,357 \cdot m^2$$

г)

Фиг.4.1 Изменение на относителната грапавост δRa и абсолютната Ra , μm в зависимост от технологичните параметри на дорноване за образци: а) CuZn5Sn5Pb5 $m=1.33$; б) CuZn5Sn5Pb5 $m=1.57$; в) CuSn12 $m=1.24$; г) CuAl9Fe4 ;

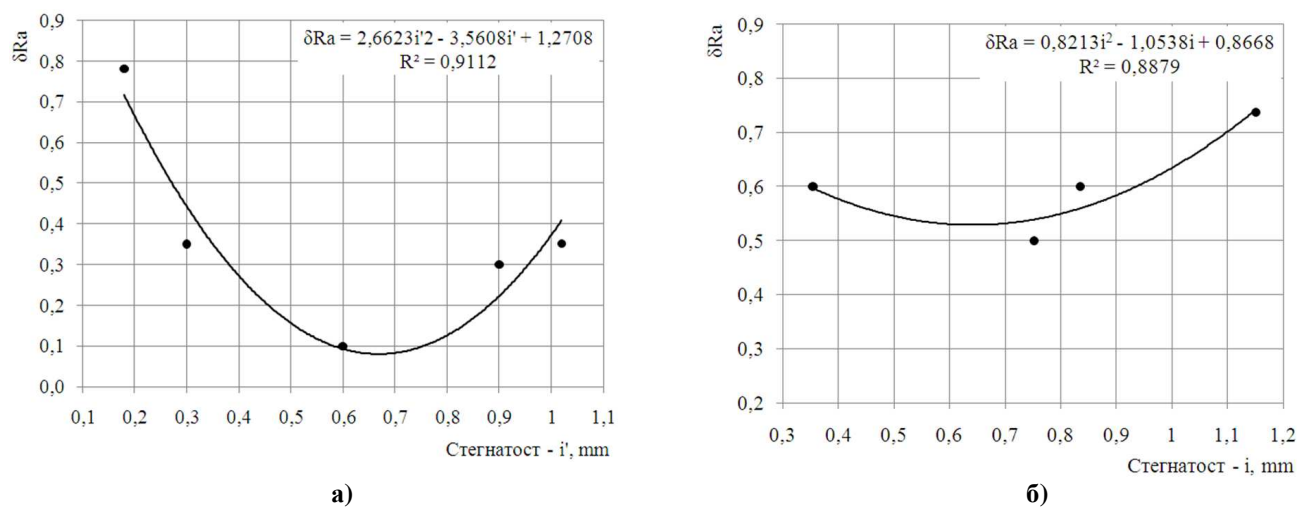
При заготовки от материал CuSn12 (фиг.4.1 – в), увеличаването на стегнатостта води до понижаване на δRa в интервала от $0,2 \text{ mm}$ до $0,65 \text{ mm}$, като след това имаме повишаване. Абсолютната грапавост Ra е изчислена според средната изходна

грапавост, която за тази група образци е $3,8 \mu\text{m}$. В интервала на ширината на цилиндричната част на инструмента от 2 до 10 mm, най-ниска стойност $\delta\text{Ra}=0,2$ приема при $i=0,65 \text{ mm}$ и $b=2\div 4 \text{ mm}$. Изменението на ширината на цилиндричната лентичка b от 2 до 8 mm води до повишаване на δRa при стегнатост 0,2 mm, докато при по-високите стегнатости над 0,8 mm влиянието на ширината на калибровачната част намалява.

От фиг.4.1 – г се вижда, че главно върху изменението на грапавостта влияе относителната дебелина на стената на заготовката, в следствие на създаването по-голямо контактно налягане. При изменение на коефициента m от 1 до 2 имаме понижаване на параметъра на грапавостта δRa от 1 до 0,3, като имаме минимална стойност при $m=1,65$ за $i=1 \text{ mm}$ и $m=1,85$ за $i=0,18 \text{ mm}$.

При ниски стойности на m под 1,3 с повишаване на стегнатостта имаме понижаване на грапавостта, докато при относителна дебелина над 1,3 влиянието на стегнатостта е обратното.

На фиг.4.2 е показано изменението на коефициента δRa в зависимост от стегнатостта за образци от материал CuSn10Pb10 последователно обработени първо по външната, а след това по вътрешната повърхност. Наблюдава се, че повишаването на стегнатостта довежда до понижаване на грапавостта до достигане на определена стойност, която е 0,1 за редуциращо дорноване със стегнатост $i'=0,63 \text{ mm}$ и 0,5 за вътрешно със стегнатост $i=0,75 \text{ mm}$, след което стойностите започват да се повишават. Това означава, че грапавостта при редуциращо дорноване се понижава с 10 пъти спрямо изходната грапавост, а при вътрешно с 2 пъти.

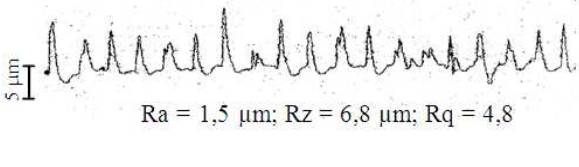
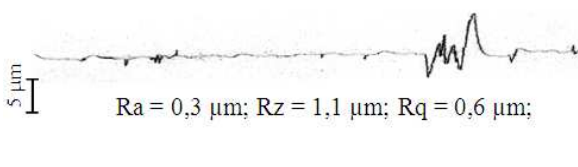
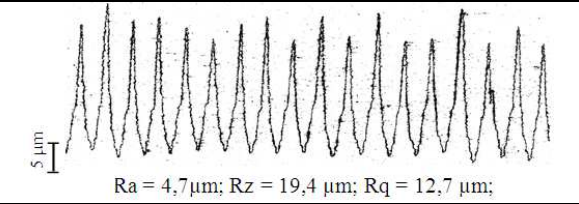
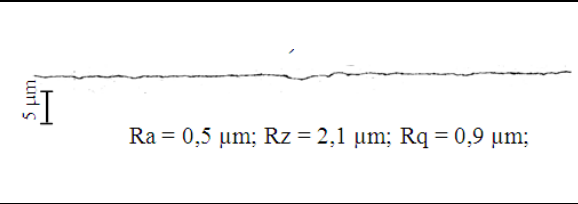
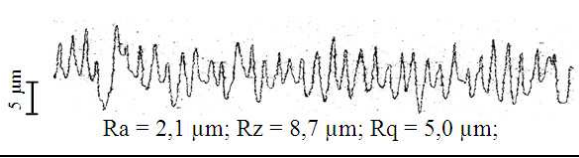
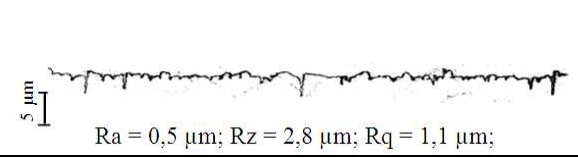
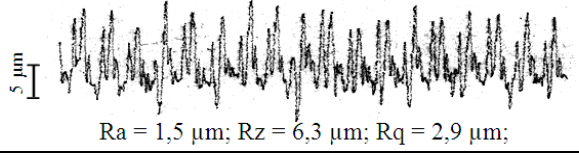
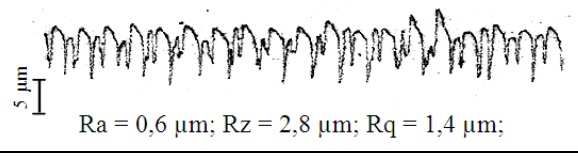
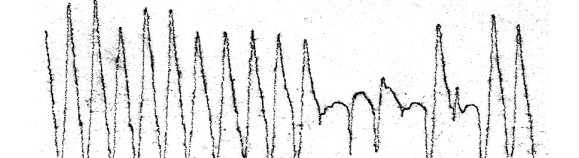
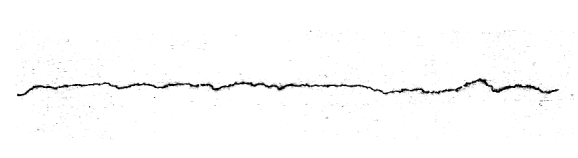


Фиг.4.2 Изменение на параметъра δRa в зависимост от стегнатостта i , mm при: а) външно дорноване и б) вътрешно, на втулки от материал CuSn10Pb10;

За да се проследи изменението на профила на грапавостта след процес на дорноване са изследвани профилограми преди и след процес на дорноване, резултатите са показани в следващата таблица (Табл.4.1). Показаните извадки от сканираните профилограми са тези с най-добри профили.

Табл.4.1 Изменение на микропрофила на повърхността след дорноване

Група	Преди дорноване	След дорноване
CuZn5Sn5Pb5, $m=1,33$	 $R_a = 5,5 \mu\text{m}; R_z = 21,6 \mu\text{m}; R_q = 13,6 \mu\text{m};$	 $R_a = 0,6 \mu\text{m}; R_z = 4,1 \mu\text{m}; R_q = 1,5 \mu\text{m};$

Техн. опер.	Разстъргване	Вътрешно дорноване: $i=0,6$ mm, $b=0,76$ mm;
CuZn5Sn5Pb5, $m=1,57$	 $Ra = 1,5$ μm; $Rz = 6,8$ μm; $Rq = 4,8$	 $Ra = 0,3$ μm; $Rz = 1,1$ μm; $Rq = 0,6$ μm;
Техн. опер.	Разстъргване	Вътрешно дорноване: $i=0,9$ mm, $b=8$ mm;
CuSn12, $m=1,24$	 $Ra = 4,7$ μm; $Rz = 19,4$ μm; $Rq = 12,7$ μm;	 $Ra = 0,5$ μm; $Rz = 2,1$ μm; $Rq = 0,9$ μm;
Техн. опер.	Разстъргване	Вътрешно дорноване: $i=0,6$ mm, $b=0,76$ mm;
CuAl9Fe4	 $Ra = 2,1$ μm; $Rz = 8,7$ μm; $Rq = 5,0$ μm;	 $Ra = 0,5$ μm; $Rz = 2,8$ μm; $Rq = 1,1$ μm;
Техн. опер.	Разстъргване	Вътрешно дорноване: $i=0,9$ mm, $m=1,25$, $b=5$;
CuSn10Pb 10	 $Ra = 1,5$ μm; $Rz = 6,3$ μm; $Rq = 2,9$ μm;	 $Ra = 0,6$ μm; $Rz = 2,8$ μm; $Rq = 1,4$ μm;
Техн. опер.	Разстъргване и външно дорноване	Вътрешно дорноване: $i=0,75$ mm, $m=1,25$, $b=5$ mm;
CuSn10Pb10	 $Ra = 1,5$ μm; $Rz = 6,3$ μm; $Rq = 2,9$ μm;	 $Ra = 0,6$ μm; $Rz = 2,8$ μm; $Rq = 1,4$ μm;
Техн. опер.	Външно дорноване: $i'=0,18$ mm, $m=1,25$, $b=5$ mm;	Външно дорноване: $i'=0,75$ mm, $m=1,25$, $b=5$ mm;

От показаните профилограми, се наблюдава понижаване на височината на грапавините, като получените най-гладки повърхнини са при технологични параметри, които отговарят на режимите, за които се получават най-ниски стойности на параметъра δRa .

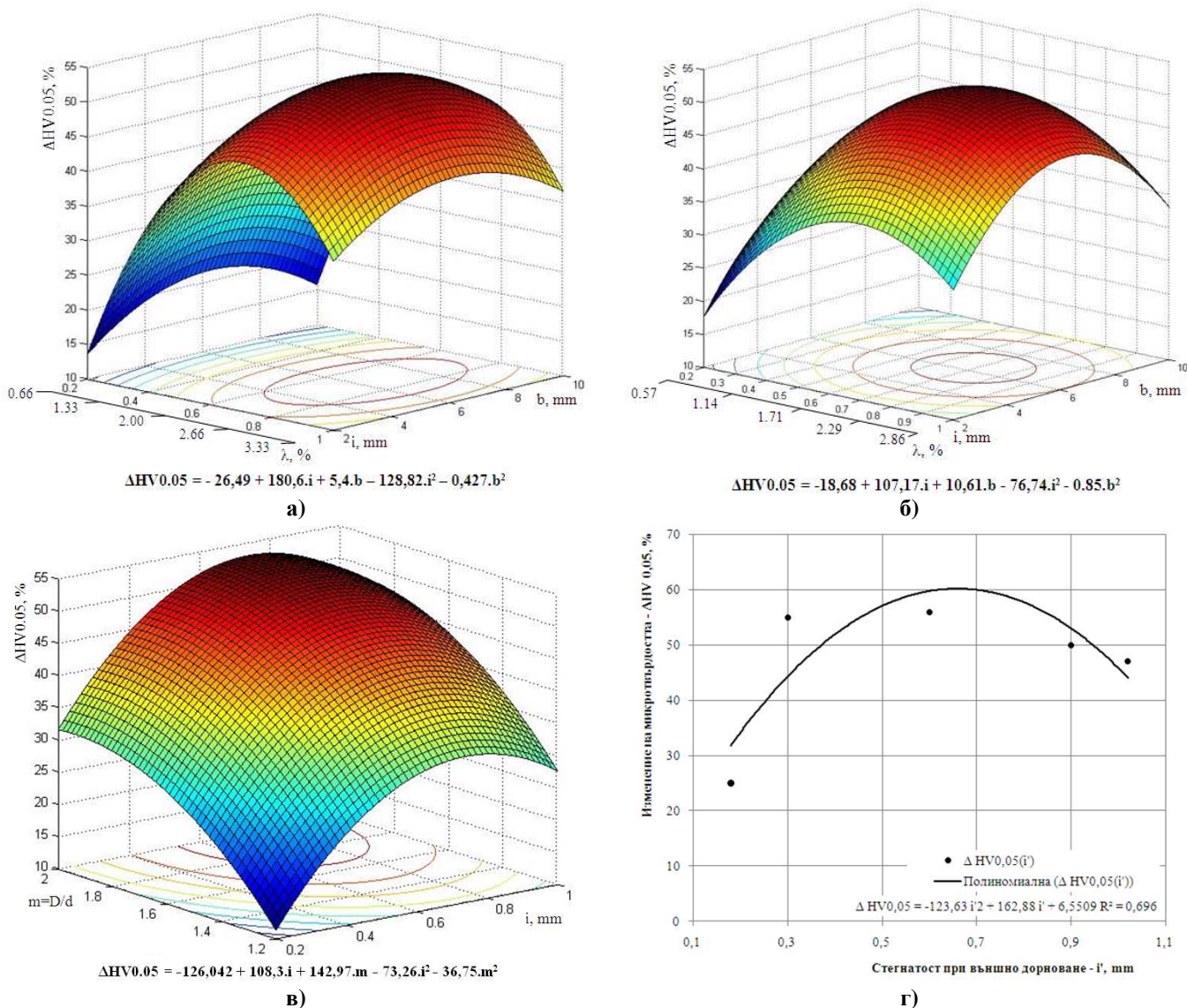
4.2 Изменение на микротвърдостта след обработка на лагерни втулки чрез дорноване

Резултатите от повишаването на твърдостта според параметъра $\Delta HV0,05$, % в зависимост от технологичните режимни параметри за вътрешно и външно дорноване са показани на следващите фигури.

При дорноване на образци от материал CuZn5Sn5Pb5 с дебелина на стената $h=5$ mm и номинален вътрешен диаметър 30 mm (фиг.4.3 - а), имаме максимално повишаване на повърхностната микротвърдост с 50 %, при дорноване със стегнатост $i=0,7$ mm и ширина на цилиндричната част $b=6$ mm. С увеличаване на стегнатостта имаме повишаване на $\Delta HV0,05$ до стегнатост $i=0,7$ mm, след което следва понижаване. Нарастването на ширината на калибровачната лентичка също довежда

до повишаване на $\Delta HV_{0.05}$, като при стойности $b=6$ mm имаме максимално повишаване на твърдостта.

За да се изследва влиянието на дебелината на стената върху твърдостта след дорноване, експериментални изследвания са извършени и върху образци от материал CuZn5Sn5Pb5 при $m=55/35=1.57$ – дебелина на стената на заготовката 10 mm. Резултатите са показани на фиг.4.3 - б. Както се вижда, максимална стойност на изменението на твърдостта $\Delta HV_{0.05}$ е 50 % при стегнатост на дорноване 0,6 mm и ширина на калибровачната част на дорника между 5 и 6 mm.



Фиг.4.3 Изменение на параметъра $\Delta HV_{0.05}$, % в зависимост от технологичните параметри на вътрешно дорноване за образци: а) CuZn5Sn5Pb5 $m=1.33$; б) CuZn5Sn5Pb5 $m=1.57$; в) CuAl9Fe4 и външно дорноване г) CuSn10Pb10;

Максималната получена абсолютна стойност на твърдостта и за двете групи образци е $HV_{max}=210$ единици при дорноване със стегнатост 0,6 mm и ширина на калибровачната част на инструмента 6 mm.

С повишаване на стегнатостта и дебелината на стената на заготовката имаме повишаване на изменението на твърдостта за материал CuAl9Fe4 (фиг.4.3 - в), като най-високата стойност показва повишаване на твърдостта с около 55 % спрямо изходната. Максималната стойност на изменението на микротвърдостта се постига

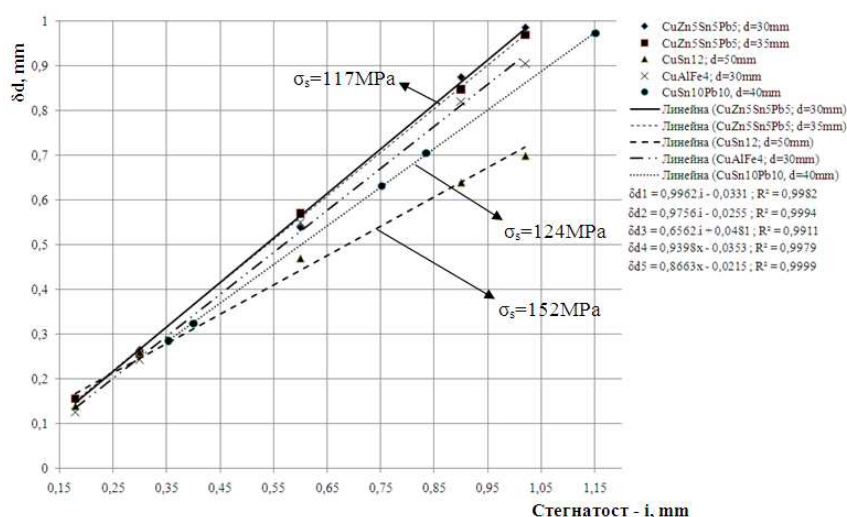
при стойности на технологичните режимни параметри, съответно стегнатост $i=0,8$ mm при относителна дебелина на стената $m=2$.

Изследване на микротвърдостта е извършено на образците от материал CuSn10Pb10 обработени чрез редуциращо дорноване. Стегнатостта се изменя от 0,18 до 1,02 mm, като макар и еднофакторен експеримента са спазени изискванията за стойностите на изменящия се фактор.

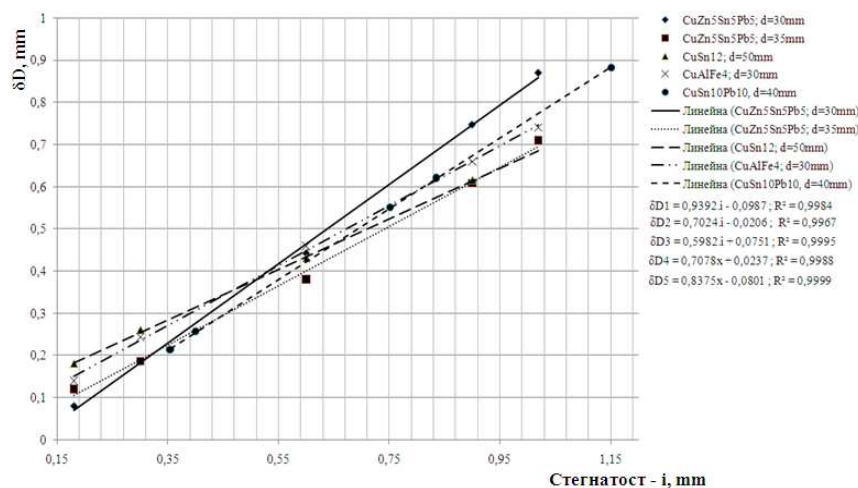
От фиг.4.3 – г, се наблюдава, че увеличаването на стегнатостта води до повишаване на твърдостта, като при обработка със стегнатост $i'=0,3$ mm, тя достига до най-висока стойност $HV_{0,05}=255$. При обработката със стегнатост $i'=0,6$ и 0,9 mm имаме максимални измерени стойности, съответно 210 и 225. Максималната стойност на $\Delta HV_{0.05}$ е 55 % при обработка със стегнатост $i=0,3$ mm и 50 % при стегнатост 0,9 mm. При стегнатост 0,18 mm се е повишила с 25 %, а при 1,02 с около 48 %.

4.3 Еластични и остатъчни деформации при дорноване

Важен за обработката чрез дорноване е размера на детайла, който получаваме след прехода на дорника. В литературните източници, както и се наблюдава от следващата фигура, зависимостта на остатъчната деформация от стегнатостта е право-пропорционална, като колкото е по-висока границата на провлачане σ_s на даден материал, толкова остатъчните деформации са по-малки.



а)

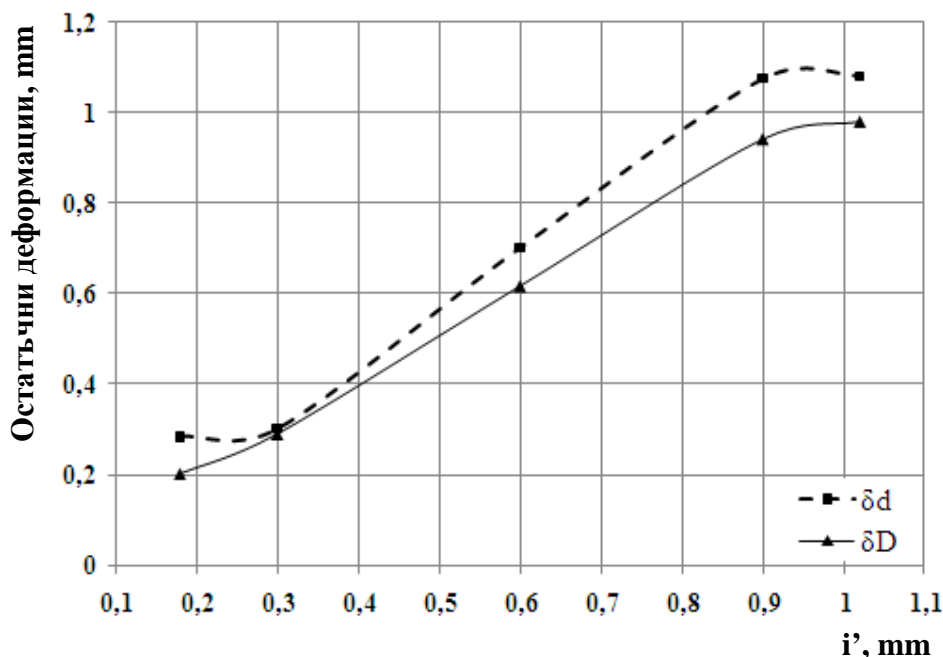


б)

Фиг.4.4 Изменение на остатъчните деформации: а) по вътрешния и б) по външния диаметър на обработените чрез дорноване бронзови втулки в зависимост от стегнатостта i , mm;

От фиг.4.4 – б, се наблюдава, че повишаването на дебелината на стената на заготовката, понижава получените по външната повърхност остатъчни деформации. Например, при дорноване със стегнатост $i=0,6$ mm деформациите, които получаваме по външната повърхност в зависимост от дебелината на стената са следните: 0,38 mm при $h=10$ mm и 0,44 mm при $h=5$ mm.

На фиг.4.5 са показани остатъчните деформации след дорноване по външната повърхност на втулки от материал CuSn10Pb10 в зависимост от стегнатостта на дорноване. От фигурата се наблюдава, че деформациите по вътрешния диаметър са по-големи от тези по външния за една и съща стегнатост, като разликата се повишава с повишаването на стегнатостта.



Фиг.4.5 Изменение на остатъчните деформации δD , mm по външния диаметър и δd , mm по вътрешния в зависимост стегнатостта при редуциращо дорноване i' , mm за образци от материал CuSn10Pb10;

При редуциращо дорноване със стегнатост 0,6 mm имаме остатъчна деформация по външния диаметър 0,61 mm, а по вътрешния 0,7 mm. Отново се наблюдава пропорционалната зависимост между стегнатостта на дорноване и получаваните деформации.

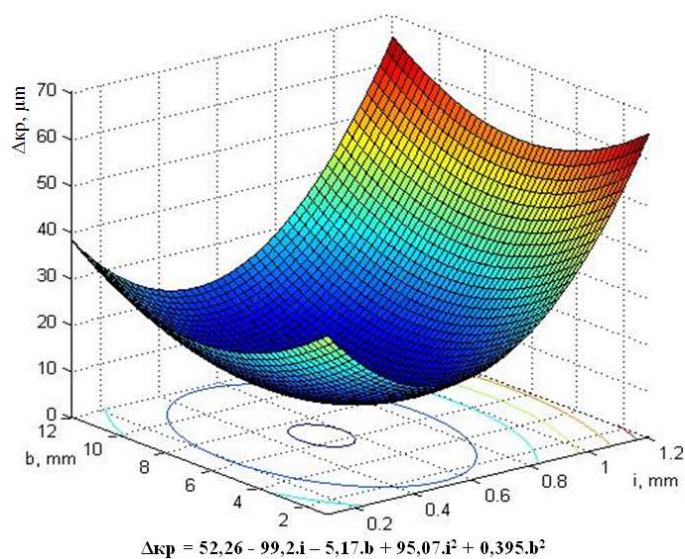
4.4 Отклонения от кръглост и цилиндричност на обработени чрез дорноване бронзови втулки

При дорноване на втулки от материал CuZn5Sn5Pb5 имаме минимална стойност на отклоненията от кръглост 10 μ m при дебелина на стената на заготовката 5 mm и 20 μ m при дебелина 10 mm (фиг.4.6 – а и б). Технологичните параметри, при които се достига минимална стойност на отклоненията са приблизително еднакви и за двата случая - стегнатост $i=0,5$ mm и ширина на цилиндричната част на дорника 7 mm при дорноване на втулки с дебелина 5 mm и $b=5$ mm при дебелина на образците 10 mm.

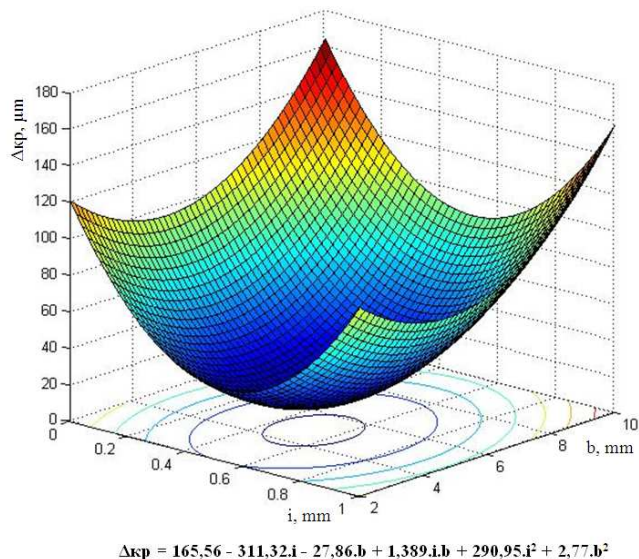
Повишаването на стегнатостта над тези стойности довежда до повишаване на отклоненията от кръглост, като за образците от материал CuZn5Sn5Pb5 и дебелина на стената 5 mm при дорноване със стегнатост 1 mm отклоненията нарастват до 50 μ m. Обработката на по-дебелостенните заготовки от материал CuZn5Sn5Pb5 (фиг.4.6 – б) със стегнатост 1 mm, довежда до повишаване на отклоненията от

кръглост с 4-пъти при ширина на цилиндричната част 2 mm и със 7-пъти при $b=10$ mm, спрямо минималната получена стойност.

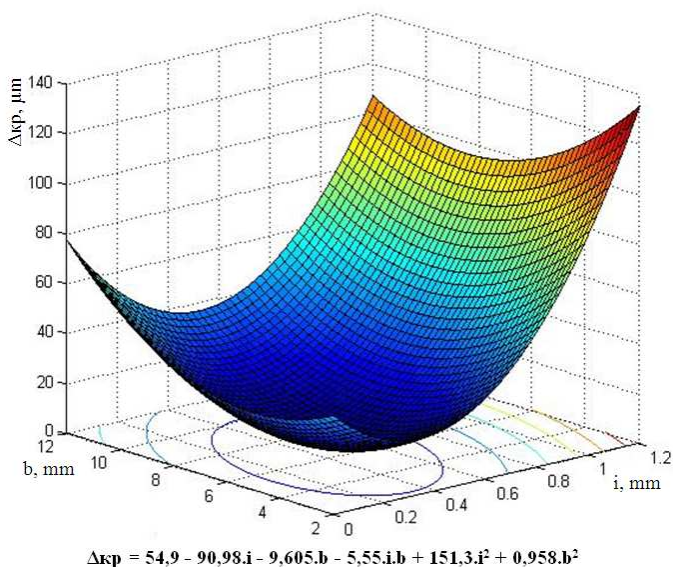
На фиг.4.6 – в, могат да се наблюдават отклоненията от кръглост, след дорноване на втулки от материал CuSn12. Тук минималното отклонение е 10 μm при обработка със стегнатост 0,4 mm и ширина на цилиндричната част на инструмента 6 mm. Зоната, в която се разпростират отклоненията със стойност 20 μm е по-широка от тази на горните графики. За дорноване със стегнатост 0,4 mm, зоната се разпростира при ширина на цилиндричната част от 2 до 10 mm, а при дорноване с ширина на цилиндричната част на дорника 6 mm в границите на стегнатостта от 0,1 до 0,7 mm. От анализа може да се заключи, че материалът CuSn12, който има сравнително високи механични характеристики, може да се обработва при големи граници на технологичните параметри при запазване на минимални отклонения от кръглост.



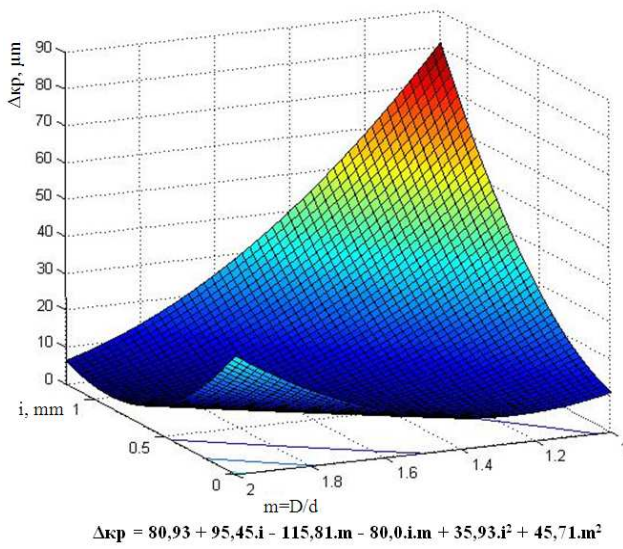
а)



б)



в)



г)

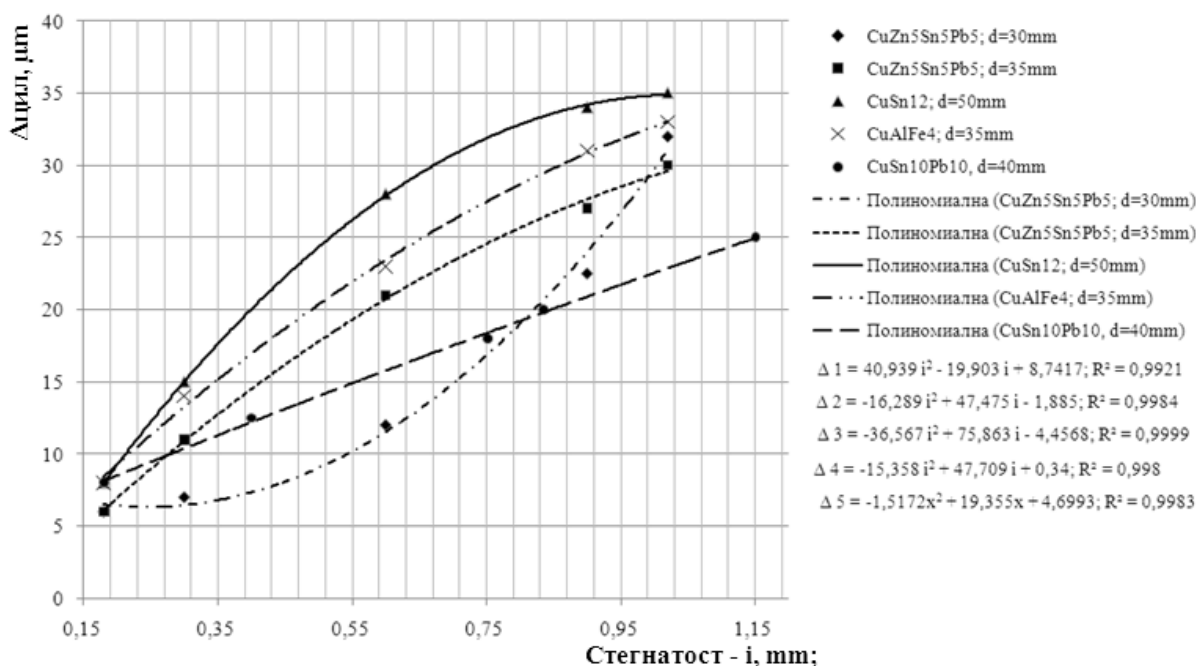
Фиг.4.6 Изменение на отклоненията от кръглост в зависимост от технологичните параметри на вътрешно дорноване за образци: а) CuZn5Sn5Pb5 $m=1.33$; б) CuZn5Sn5Pb5 $m=1.57$; в) CuSn12 и г) CuAl9Fe4;

Влиянието на стегнатостта и дебелината на стената на обработваните чрез дорноване заготовки са основните параметри, които определят отклоненията от кръглост. На фиг.4.6 – г, могат да се наблюдават резултати получени за заготовки от

материал CuAl9Fe4 при изменение на дебелината на стената на заготовката, представено с параметъра m и изменението на стегнатостта.

Най-голямо повишаване на отклоненията от кръглост се наблюдава при дорноване с голяма стегнатост на тънкостенна заготовка. В този случай заготовката губи устойчивост, в следствие на което получаваме неравномерен преход на дорника по обработваната повърхност. Същият ефект, но с по-малки стойности на отклоненията може да се наблюдава при дорноване с малка стегнатост на дебелостенна заготовка.

След анализиране на експерименталните резултати за отклоненията от цилиндричност, се достигна до извод, че главно влияние върху тях има изменението на стегнатостта и дебелината на стената на заготовката. На фиг.4.7 са показани отклоненията от цилиндричност по вътрешната повърхност на обработените чрез дорноване втулки в зависимост от стегнатостта.



Фиг.4.7 Влияние на стегнатостта i , mm върху отклоненията от цилиндричност по вътрешната повърхност $\Delta_{цил}$, μm за дорновани втулки от различни материали;

Важна за отклоненията от цилиндричност, се оказва осевата сила необходима за осъществяване на процес на дорноване. Това се доказва от анализа на графиката на фиг.4.7. С повишаване на стегнатостта, имаме повишаване на отклоненията от цилиндричност, като също така и повишаването на осевата сила на дорноване.

Логично би изглеждало, ако отклоненията от цилиндричност се повишават, когато намаляваме дебелината на заготовката, когато тя загубва устойчивост, но на практика отклоненията се повишават при увеличаване на дебелината на стената, а също и при повишаване на якостта на материала по данните за експериментални образци за CuSn12. Това разсъждение довежда до извода, че понижаване на отклоненията от цилиндричност би оказало качествено смазване на триещите се повреме на дорноване повърхности.

4.5 Точност на обработени чрез дорноване бронзови втулки

Точността, която се достига след дорноване на втулки от материал CuZn5Sn5Pb5, $m=1.33$ отговаря на 7-ма степен на точност за съответния размер с

дисперсия 21 μm , на база на изходното разпределение 130 μm отговарящо на 11-ти клас.

При заготовките от същия материал при $m=1.57$, достигнатата точност след дорноване на втулките отговаря на 8-ма степен на точност за съответния размер с дисперсия 39 μm , сравнена с изходната IT11 с разпределение 160 μm .

Интересен се оказва факта, че няма голямо значение за точността колко е стегнатостта на дорноване и съответно изходния размер на заготовката. Това се наблюдава от резултатите за точността на обработени втулки от материал CuSn10Pb10 при изменение на диаметъра на заготовките от 40,0 до 40,8 mm. Получените отклонения в размерите отговарят на степен на точност IT10, което не покрива изискванията за точност на плъзгащите лагери, но до голяма степен понижава изискванията за първичната им – груба обработка. Така от бронзови материали в отлято или валцовано състояние, може да се достигне без особени затруднения до размери на заготовките подходящи за довършителна обработка чрез дорноване, след провеждане на груба обработка чрез стружкоотнемане (свредловане или разстъргване).

Нормалното разпределение на получените размери при обработка на външни повърхнини на лагерни втулки чрез метода на редуциращо дорноване показва, че от степен на точност IT16, чрез дорноване с един преход се достига до размери на образците отговарящи на степен на точност IT9.

4.6 Оптимизация на експерименталните резултати за качествените параметри на бронзови лагерни втулки

От оптимизацията на получените резултати за качествените параметри на дорноване, се достигна до избора на извадки от обработените образци и сравняването на експлоатационните им характеристики с тези на обработени чрез други довършващи методи лагерни втулки.

От групата на образците изработени от материал CuZn5Sn5Pb5 при номинален диаметър на втулките $d=30$ mm и дебелина на стената 5 mm е избран образец №9, обработен чрез дорноване със стегнатост 0,6 mm и ширина на калибровашката лентичка 5 mm.

При групата на образците от същия материал, но при номинален вътрешен диаметър $d=35$ mm и дебелина на стената 10 mm е изработен нов образец, който да покрива технологичните параметри от оптимизацията. Образца е обработен чрез дорноване със стегнатост 0,35 mm и ширина на калибровашката лентичка 5 mm.

От групата на образците изработени от материал CuSn12 е избран образец №3, обработен чрез дорноване със стегнатост 0,3 mm и ширина на калибровашката лентичка 8 mm.

4.7 Изводи базирани на резултатите за параметрите на качеството на обработените чрез дорноване втулки

1. Установено е, че след вътрешно дорноване грапавостта на обработената повърхнина намалява с 5 до 10 пъти в зависимост стегнатостта, като по-големите стойности са характерни за заготовки с по-голяма дебелина на стената (фиг.4.1, 4.2, 4.7 и 4.10).

2. Установено е, че относителната дължина на носещия профил на грапавините се увеличава със 70 – 100 %, като по-високи стойности са получени при образци с

по-дебела стена на заготовката, предвид промяната в условието на деформацията (фиг.4.5, 4.6, 4.9 и 4.12).

3. Установено е, че дорноването на отвори в лагерни втулки от изработени от бронзови материали наклепва обработваемата повърхност, повишавайки нейната микротвърдост HV0.05 с около 50 % (фиг.4.16, 4.17 и 4.18).

4. Доказана е технологичната възможност на дорноването за достигане на висока размерна точност на обработените отвори (фиг.4.29, 4.30, 4.31 и 4.32). В хода на експерименталните изследвания е доказано, че точността на обработените отвори достига 7-8 степен при изходна точност 11-ти квалитет и до 9-10 квалитет при изходна точност 16-ти.

5. Подбрана е технологична схема за водене на дорнования инструмент, осигуряваща минимални отклонения между осите на обработваните повърхнини и на дорнования инструмент. Тя осигурява минимални отклонения от кръглост, които за проведените експериментални изследвания са около 10 – 20µm за различните групи образци при оптималните режими на дорноване (фиг.4.24, 4.25, 4.26 и 4.27).

6. Обобщавайки получените резултатите можем да твърдим, че посредством калибровачното дорноване на отвори в бронзови лагерни втулки от марки CuZn5Sn5Pb5, CuSn12, CuAl9Fe4 и CuSn10Pb10, се постига оптимизация на параметрите на качеството на обработваемите повърхнини, със следните показатели по отделните качествени параметри:

6.1 Грапавост – Ra=0.3-0.7 µm;

6.2 Отклонения от кръглост – $\Delta_{кр}$ = 10 µm;

6.3 Точност на размерите – IT 7-8 квалитет;

6.4 Микротвърдост на обработените повърхнини HV0.05 – 200 ÷ 250 единици спрямо изходна от порядъка на 130 единици;

7. Установено е, че при редуциращо дорноване на втулки от материал CuSn10Pb10 грапавостта се намалява средно с 10 пъти (от изходна грапавост Ra=1,5µm до получена след обработка Ra=0,15µm – фиг. 4.13).

8. Установено е, че при редуциращо (външно) дорноване на втулки, изработени от CuSn10Pb10 микротвърдостта на обработената повърхност се увеличава средно с 60 % (от изходна HV0.05 - 141 единици на получена HV0.05 - 254 единици фиг. 4.20).

9. Подбрани са втулки предназначени за определяне на износоустойчивостта на дорнованите повърхнини, притежаващи оптимални показатели на параметрите на качеството на обработените втулки. По показатели те са посочени в следващата таблица:

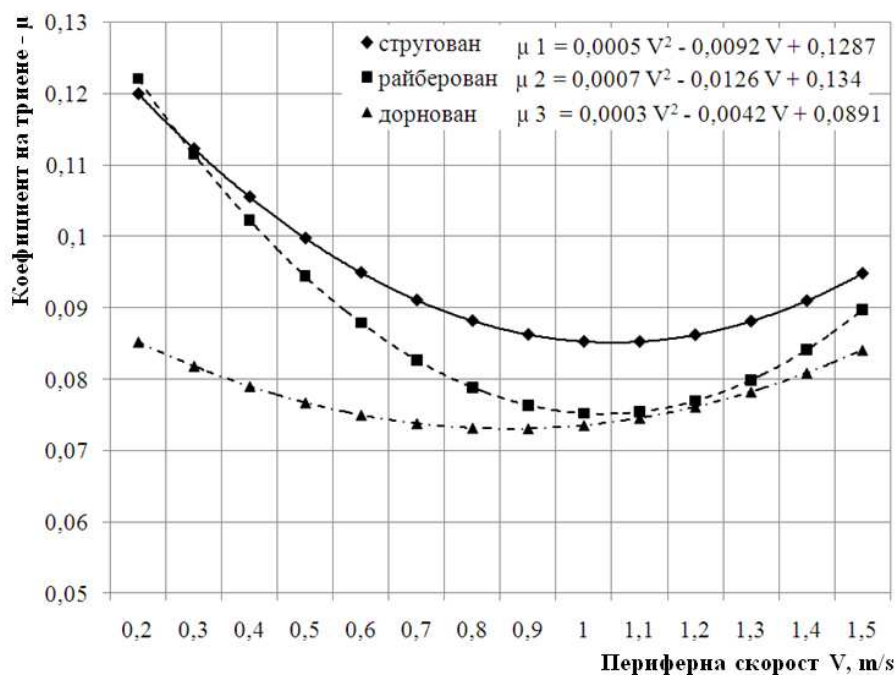
Табл.4.2

Образец №	Материал	Размери, mm			Качествени показатели	
		d	D	m	Ra, µm	HV0.05
1	CuZn5Sn5Pb5	30	40	1.33	0.80	174
2	CuZn5Sn5Pb5	35	55	1.67	0.30	184
3	CuSn10Pb10	40	50	1.25	0.84	230
4	CuSn10Pb10	40	50	1.25	0.32	254

Глава 5 ЕКСПЛОАТАЦИОННИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ДОРНОВАНИТЕ ВТУЛКИ

5.1 Триене при експлоатация на обработените чрез различни довършващи методи лагерни втулки

За да се сравни метода на дорноване с други методи на довършваща обработка, чрез изследване на коефициента на триене при материал на заготовките CuZn5Sn5Pb5 са изследвани три образца. Първият, обработен чрез дорноване с технологични параметри съответно, стегнатост 0,6 mm и ширина на калибровашката лентичка 5 mm, вторият обработен чрез струговане, а третият чрез райбероване.



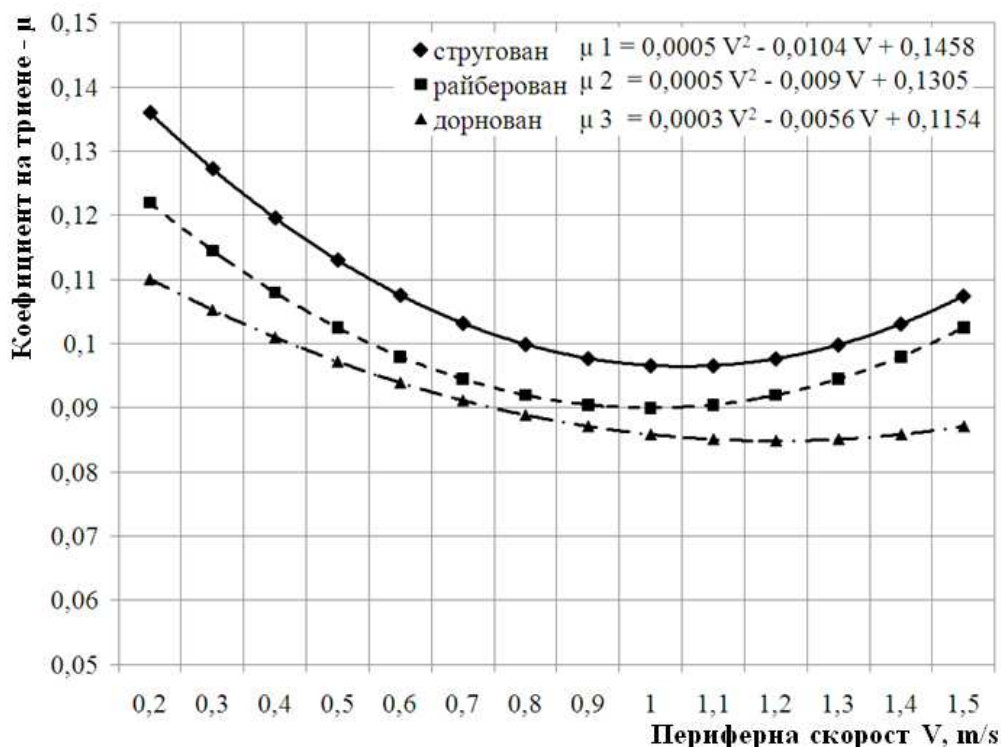
Фиг. 5.1 Изменение на коефициента на триене при смазване с грес на обработени чрез различни довършващи методи образци от материал CuZn5Sn5Pb5 при номинален диаметър $d=30$ mm в зависимост от периферната скорост на вала;

На фиг. 5.1 е показана графика на изменението на коефициента на триене в зависимост от периферната скорост на вала за трите изследвани образци, при номинален вътрешен диаметър 30 mm и дебелина на стената 5 mm. Средното налягане, при което е изследван коефициента на триене е 1 МПа, а температурата на лагера е 80°C.

Най-нисък коефициент на триене е получен при образеца обработен довършващо по вътрешната повърхност чрез дорноване за целия изследван интервал на периферната скорост. При ниски периферни скорости, стойностите на коефициента на триене на дорнования образец се понижават с 41% ($\mu=0,085$), спрямо стойностите на обработени чрез райбероване и струговане образци ($\mu=0,12$).

Изследвания на коефициента на триене са извършени и на втулки от същият материал с номинален диаметър на отвора 35 mm, дебелина на стената 10 mm. Сравнени са резултатите за три експериментални образци обработени с различни технологични процеси. Образецът обработен чрез дорноване със стегнатост 0,35 mm и ширина на калибровашката лентичка 5 mm е сравнен с други два образци обработени съответно чрез разстъргване и райбероване. Резултатите от извършените изследвания са показани на фиг.5.2.

Отново може да се наблюдават подобни на предишните резултати, при които коефициента на триене при обработения чрез дорноване образец приема най-ниски стойности, след които следват обработения чрез райбероване образец и този разстързан по вътрешната повърхност.



Фиг. 5.2 Изменение на коефициента на триене при смазване с грес на обработени чрез различни довършващи методи образци от материал CuZn5Sn5Pb5 при номинален диаметър $d=35$ mm в зависимост от периферната скорост на вала;

Може също така да се наблюдава, че при ниски стойности на периферната скорост на вала, имаме най-малък коефициент на триене при дорнования образец, което отново показва положителното влияние на получената вследствие дорноването геометрия.

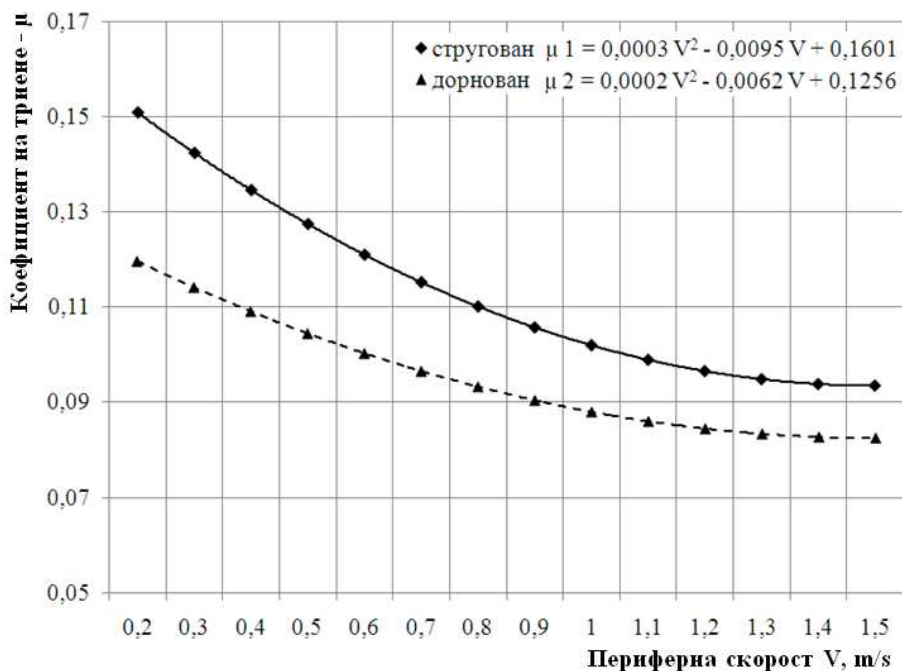
При изследване на коефициента на триене за втулки от материал CuSn12 са изследвани два експериментални образца, единият обработен чрез дорноване със стегнатост 0,3 mm и ширина на калибровачната лентичка 8 mm и един обработен чрез струговане. Резултатите от извършените изследвания могат да се видят на следващата фигура.

От графиката показана на фиг.5.3 може да се види, че резултатите за коефициента на триене при образца обработен чрез дорноване са по-ниски от този обработен чрез струговане в зоната на ниските периферни скорости.

Повишаването на периферната скорост понижава коефициентите на триене, като стойностите намаляват и достигат близки стойности при периферни скорости 1,3÷1,5 m/s. Това показва създаването на стабилен маслен клин при ниски скорости за образца обработен чрез дорноване, което е в следствие на ниските стойности на параметрите на грапавостта.

Повишаването на периферната скорост на вала, довежда до повишаване на налягането на масления слой и до разделяне на двете лагеруващи повърхности. При обработка на повърхностите чрез дорноване, минимален контакт между лагеруващите повърхности, базирано на ниските стойности на грапавостта и точно на параметъра R_{max} , се постига при по-ниски периферни скорости, в

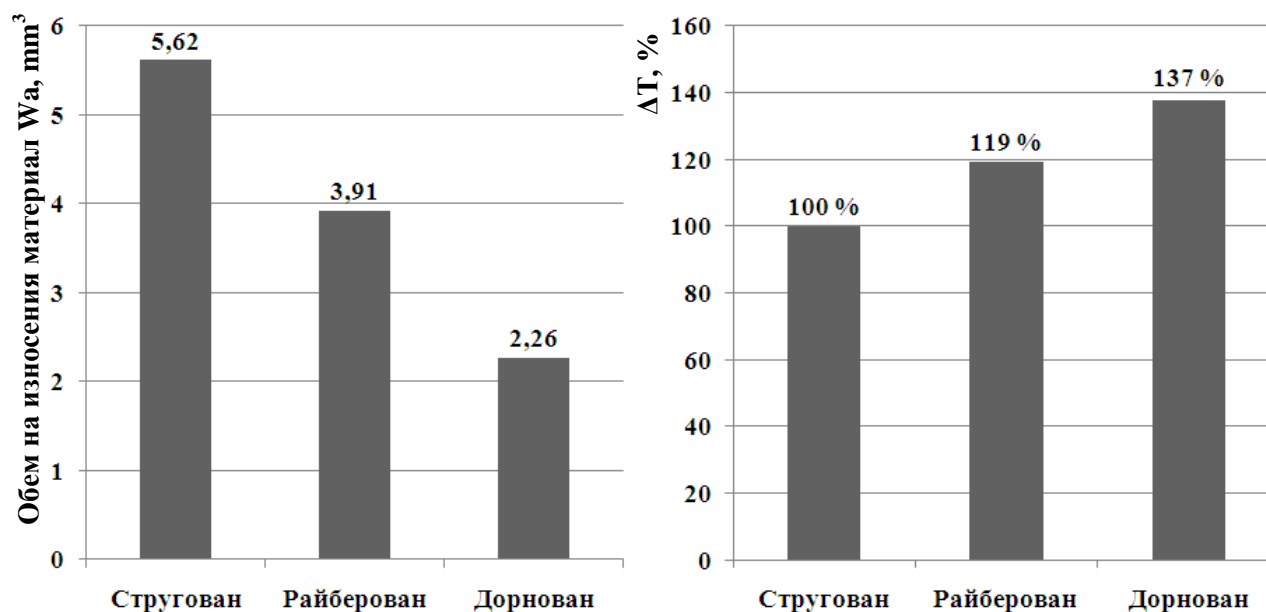
сравнение със стругованите. Това отново показва предимствата на обработените чрез методите на дорноване лагерни повърхности.



Фиг. 5.3 Изменение на коефициента на триене при смазване с грес на обработени чрез различни довършващи методи образци от материал CuSn12 при номинален диаметър d=50 mm в зависимост от периферната скорост на вала;

5.2 Износване при експлоатация на обработените чрез дорноване лагерни втулки

За да се регистрира количеството на износения повреме на сработване материал и влиянието на вида на обработката върху него, са изследвани образците обработвани чрез различни довършващи процеси.



Фиг.5.4 Сравнение между обема на износения в периода на сработване материал Wa и максималното време на експлоатация на обработените чрез различни довършващи методи образци от материал CuZn5Sn5Pb5, d=30 mm;

За групата образци от материал CuZn5Sn5Pb5 при номинален вътрешен диаметър 30 mm и дебелина на стената 5 mm са изследвани отново образците обработени чрез дорноване със стегнатост 0,6 mm и ширина на калибровачната лентичка 5 mm, обработения чрез струговане образец и образца обработен чрез райбероване. Резултатите касаещи количеството на износения, за изминат път $L=1000m$, материал при експлоатационно налягане 1 MPa са показани на фиг.5.4.

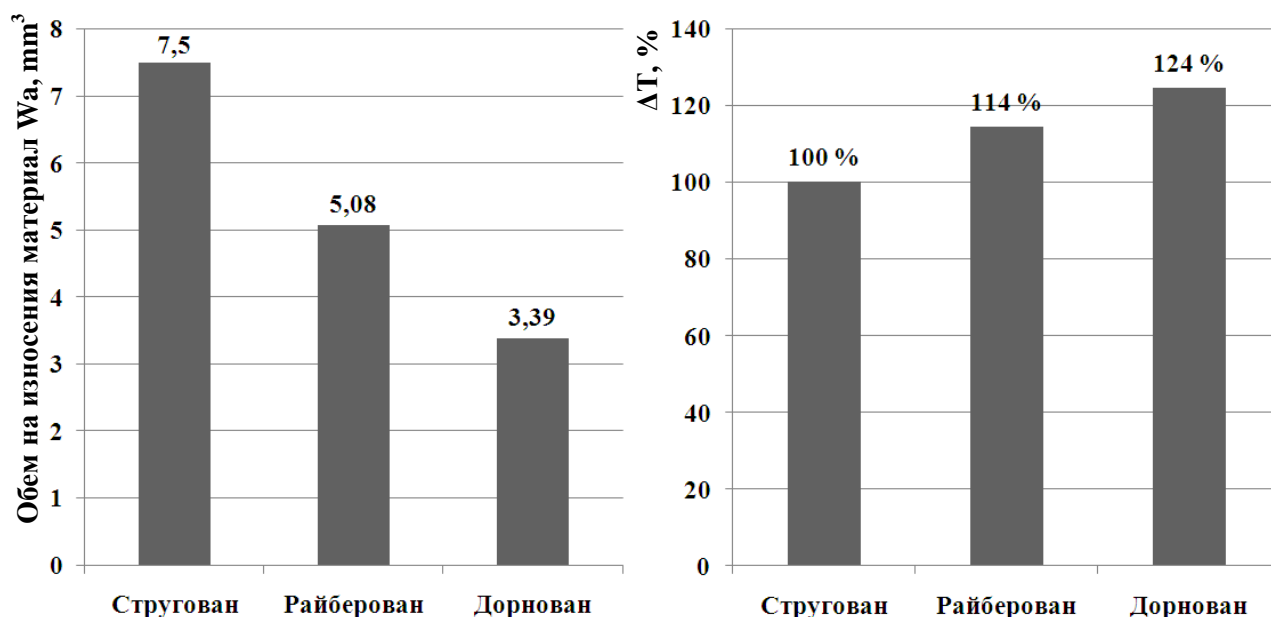
Показаните на фигурата резултати са получени чрез измерване на теглото на образците преди и след подлагане на износване. Количеството на износения за изминат път 1 km при средно експлоатационно налягане материал на образца обработен чрез дорноване е $2.26mm^3$ и сравнен с образца обработен чрез струговане, максималния период на експлоатацията му се повишава с 37 % изчислено по предложената в методичната част зависимост.

Експерименталният образец, обработен чрез райбероване също достига до по-продължително време на експлоатация, като стойностите му надвишават тези на стругования с 19 %. Разликата между дорнования и райберования образец е 18 %.

По същият начин са показани резултатите касаещи и образците от същия материал при номинален вътрешен диаметър $d=35 mm$ и дебелина на стената 10 mm. Резултатите получени от експеримента са показани на фиг.5.5, като отново са за изминат път 1 km, но при средно лагерно налягане 1,43 MPa.

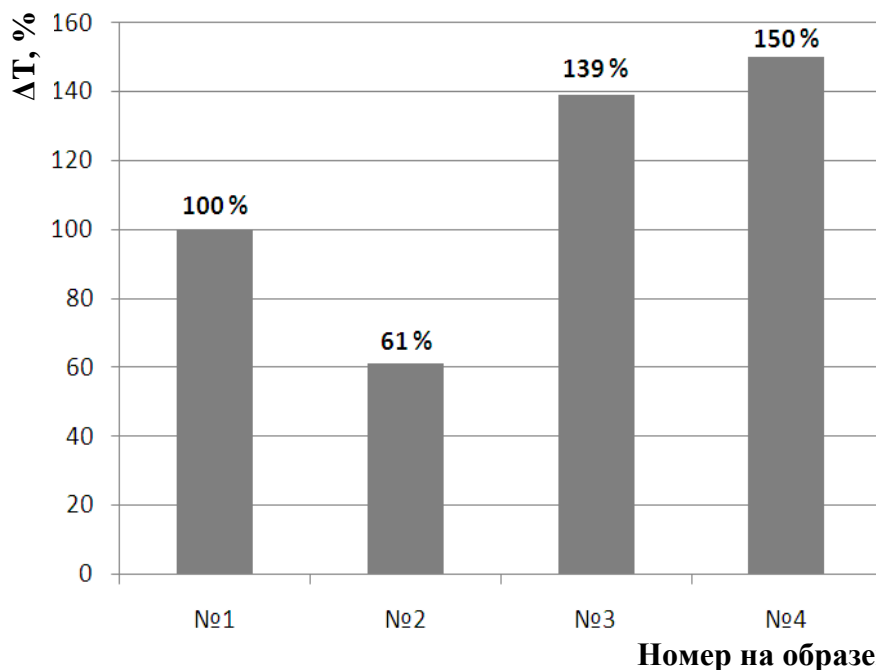
От фигурата може да се види, че резултатите имат същият характер, като предните образци, като максималното време на експлоатация се е повишило с 24 % спрямо стругования образец и с 10 % спрямо райберования. Отново най-високи стойности на обема на износения през периода на сработване материал са получени при стругования образец.

От тези експериментални резултати се потвърждават предимствата на процеса дорноване и благоприятната повреме на експлоатация микро-геометрия на получаваната повърхност.



Фиг.5.5 Сравнение между обема на износения в периода на сработване материал W_a и максималното време на експлоатация на обработените чрез различни довършващи методи образци от материал CuZn5Sn5Pb5, $d=35 mm$;

Изработени са четири броя образци от материал CuSn10Pb10, като предварителните размери преди райбероване и дорноване са постигнати чрез грубо струговане. Първият образец №1, е обработен довършително по вътрешната повърхност чрез райбероване. Вторият образец №2, е обработен довършително по вътрешната повърхност чрез разстъргване. Третият образец №3, е обработен довършително чрез дорноване по вътрешната повърхност, а четвъртият №4 първо чрез редуциращо дорноване по външната повърхност и след това по вътрешната чрез вътрешно дорноване.



Фиг.5.6 Сравнение между максималното време на експлоатация на обработените чрез различни довършващи методи образци

От фигурата се вижда, понижаване на максималното време на експлоатация с 39 % на образец №2 обработен чрез разстъргване спрямо райберования, повишаване с 39 % на образец №3 обработен чрез дорноване само по вътрешната повърхност и повишаване с 50 % на експлоатационното време за образец №4 обработен последователно по външната и вътрешната повърхност.

5.3 Основни изводи към пета глава

1. Установено е, че довършителната обработка чрез дорноване по вътрешната повърхност, създава условия за понижаване на коефициента на триене по време на експлоатация на обработените заготовки, в сравнение с обработените чрез разстъргване и райбероване образци (фиг.5.1, 5.2 и 5.3).

2. Установено е значително подобряване на експлоатационните характеристики на повърхнините обработени чрез ППД – дорноване, като точните параметри на това подобряване са:

2.1 При втулка-образец - №1 (Табл.4.2) максималния период на експлоатация се повишава с 37 % спрямо образца обработен чрез разстъргване и с 18 % спрямо този обработен чрез дорноване (фиг.5.4);

2.2 При втулка-образец - №2 (Табл.4.2) максималния период на експлоатация се повишава с 24 % спрямо образца обработен чрез разстъргване и с 10 % спрямо този обработен чрез дорноване (фиг.5.5);

За втулки №3 и №4 (Табл.4.2), следва да се отбележи, че се прави сравняване на поведението им при износване, като се цели съпоставянето на двете схеми на довършващо ППД обработване, съответно:

- само по вътрешната повърхност образец №3;
- последователно обработване по външната и след това по вътрешната повърхност №4;

2.3 Установено е, че образец №3, показва повишаване на максималния период на експлоатация с 39 % спрямо образец от същата група обработен чрез райбероване и със 78 % спрямо образец обработен чрез разстъргване (фиг.5.6);

2.4 Установено е, че образец №4, показва повишаване на максималния период на експлоатация с 50 % спрямо образец от същата група обработен чрез райбероване и с 89 % спрямо образец обработен чрез разстъргване (фиг.5.6);

2.5 Установено е, че образца обработен последователно чрез външно и вътрешно дорноване (№4 от Табл.4.2) има по-добри трибологични показатели от образца обработен чрез дорноване само по вътрешната повърхност (№3 от Табл.4.2), като максималното време на експлоатация се повишава с 11 % (фиг.5.6);

Глава 6 ОБОБЩАВАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ РЕЗУЛТАТИ И ПРОЕКТИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧЕН ПРОЦЕС ДОРНОВАНЕ

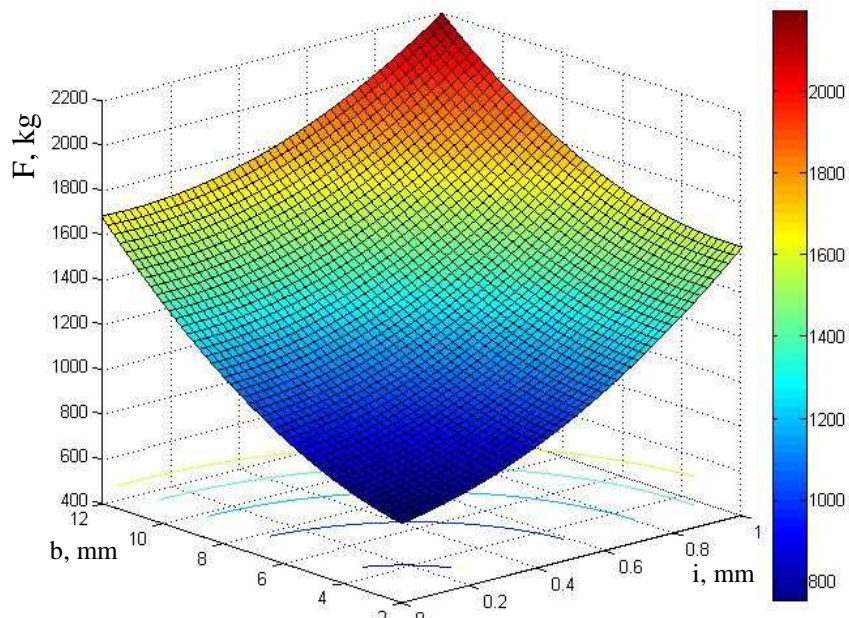
6.1 Усилие при дорноване на бронзови втулки

Усилието необходимо за осъществяване на процес дорноване се влияе главно от три фактора, от които първият е контактното налягане между инструмента и заготовката. Повишаването на стегнатостта, относителната дебелина на стената на заготовката и механичните свойства на материала довеждат до повишаване на контактното налягане. Вторият параметър е ширината на цилиндричната част на дорника, чрез който се контролира контактната площ между дорника и заготовката. Третият параметър е коефициента на триене, който зависи от вида на смазващата течност, контактното налягане, както и природата на материала на дорника и заготовката.

6.1.1 Усилие при вътрешно дорноване на бронзови втулки

На следващата фигура са показани експериментални резултати за усилието необходимо за дорноването на образци от материал CuZn5Sn5Pb5 при номинален диаметър на дорника $d=30$ mm в зависимост от стегнатостта и ширината на цилиндричната част на инструмента.

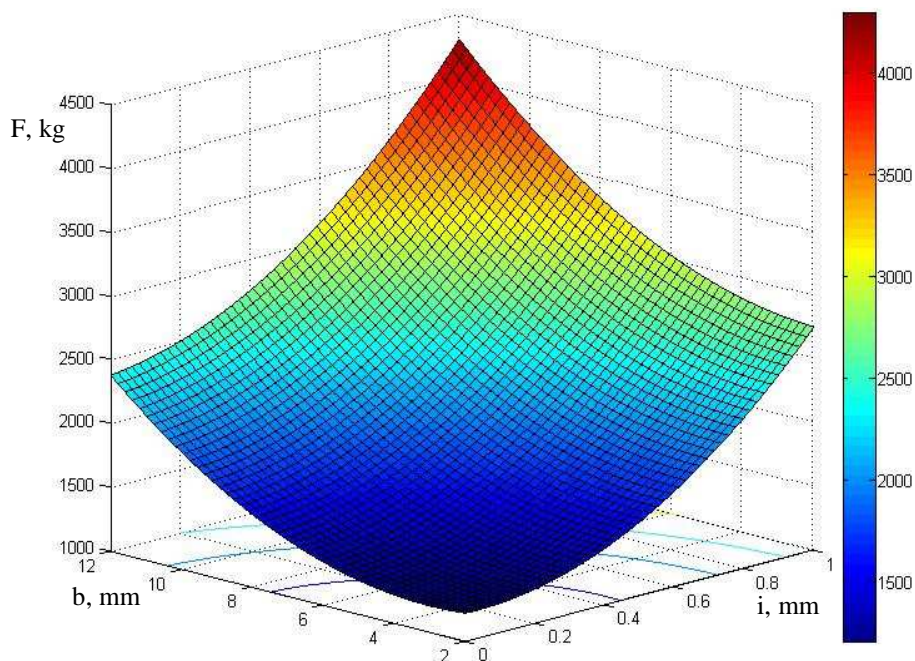
От фиг.6.1, може да се наблюдава, че с повишаването на стегнатостта и ширината на цилиндричната част на дорника натоварването нараства, а с понижаването им намалява. При повишаване на стегнатостта от 0,2 до 1 mm, при ширина на цилиндричната част на дорника 2 mm, довежда до повишаване на усилието на дорноване от 800 до 1600 kg, което е с почти 100%, докато при ширина на цилиндричната част 10 mm усилието се увеличава от 1400 до 2000 kg (38 %).



$$F = 726.84 + 302.3.i - 32.77.i.b + 603.7.i^2 + 6.62.b^2$$

Фиг. 6.1 Натоварване F , kg при дорноване на втулки от материал CuZn5Sn5Pb5 при номинален диаметър на дорника $d=30$ mm в зависимост от ширината на цилиндричната му част b , mm и стегнатостта i , mm при дебелина на стената на заготовката $h=5$ mm;

Експерименталните резултати за натоварването при изменение на технологичните параметри на дорноване за дебелина на заготовките 10 mm за същия материал са показани на фиг.6.2.

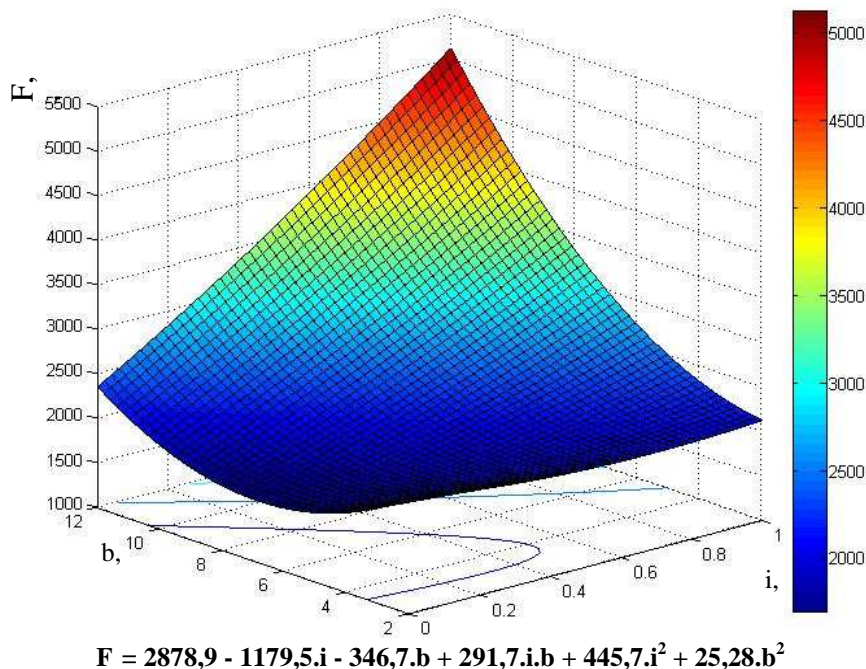


$$F = 1336,3 - 178,1.i - 86,255.b + 38,89.i.b + 1622,6.i^2 +$$

Фиг. 6.2 Натоварване F , kg при дорноване на втулки от материал CuZn5Sn5Pb5 при диаметър на дорника $d=35$ mm в зависимост от ширината на цилиндричната част на дорника b , mm и стегнатостта i , mm при дебелина на стената на заготовката $h=10$ mm;

Големината на натоварването се е повишила със средно от 50 до 100 % в сравнение със заготовките с дебелина 5 mm. По-голямото натоварване необходимо за дорноване на тези образци е следствие от създаването по-голямо контактно налягане, в сравнение с предните образци.

На фиг.6.3 е показано изменението на силата на дорноване за втулки от материал CuSn12 с вътрешен диаметър 50 mm при дебелина на стената 6 mm. Изменението на стойностите е аналогично на предните графики.

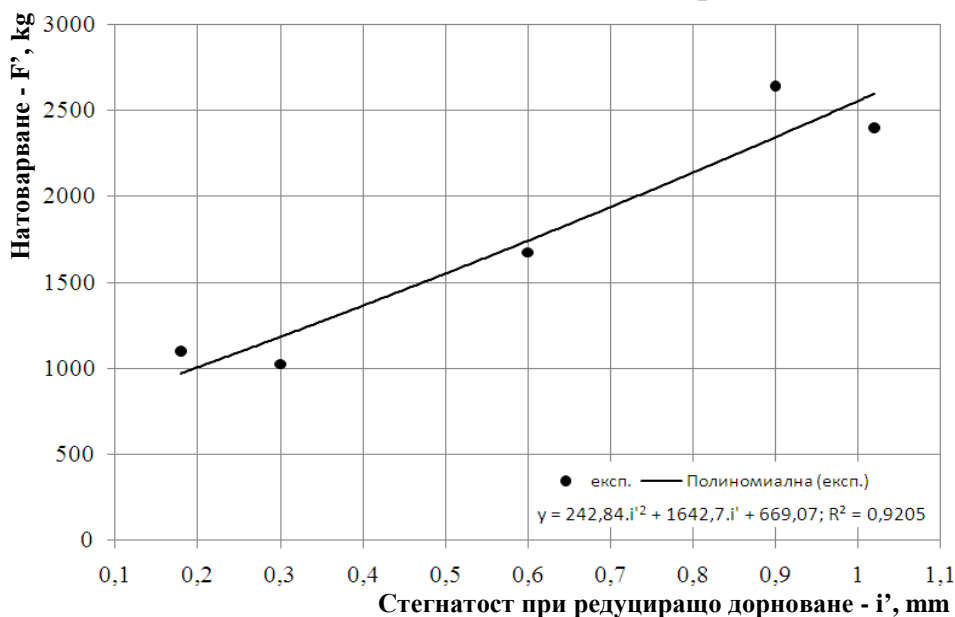


Фиг. 6.3 Натоварване F , kg при дорноване на втулки от материал CuSn12 при диаметър на дорника $d=50$ mm в зависимост от ширината на цилиндричната част на дорника b , mm и стегнатостта i , mm при дебелина на стената на заготовката $h=5$ mm;

Влиянието на стегнатостта върху натоварването за дорноване при ширина на цилиндричната част на инструмента 2 mm е минимално, докато при ширина на цилиндричната част 10 mm и изменението на стегнатостта от 0.2 до 1 mm довежда до повишаване на силата за дорноване със 113 % (от 2000 до 4250 kg).

6.1.2 Усилие при външно дорноване на бронзови втулки

Резултатите от измерените стойности на натоварването при редуциращо дорноване в зависимост от стегнатостта е показано на фиг.6.4.



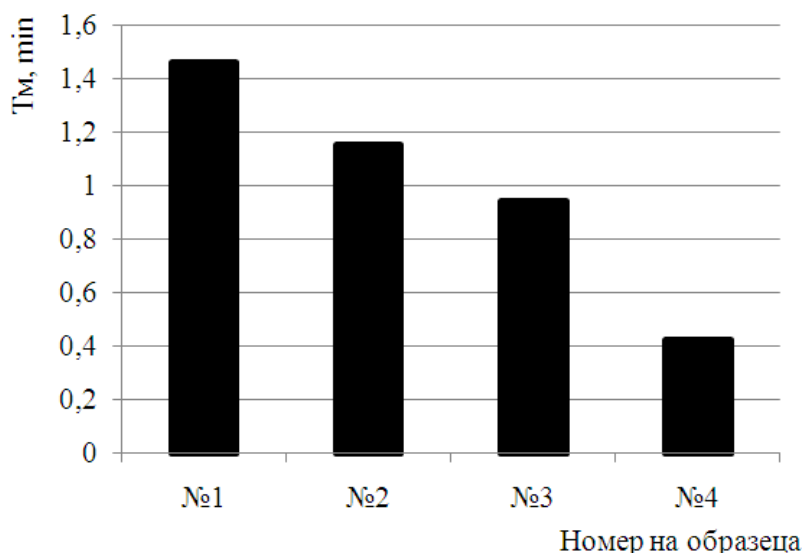
Фиг. 6.4 Натоварване F , kg в зависимост от стегнатостта при редуциращо дорноване i' , mm на втулки от материал CuSn10Pb10 при номинален външен диаметър на образците $D=50$ mm

За експериментални образци от материал CuSn10Pb10 е проведен еднофакторен експеримент, като фактора е стегнатостта. Втулките са смазвани предварително с моторно масло 10W-40, по един и същи начин за петте образеца.

Повишаването на стегнатостта от 0.2 до 1 mm довежда до повишаване на усилието на дорноване с 2.5 пъти (от 1000 до 2550 kg).

6.2 Машинно време за изработка на втулки от материал CuSn10Pb10 чрез различни довършващи методи

На фиг.6.5, се вижда разпределението на сумарното машинно време необходимо за изработка лагерна втулка, чрез различни довършващи методи.



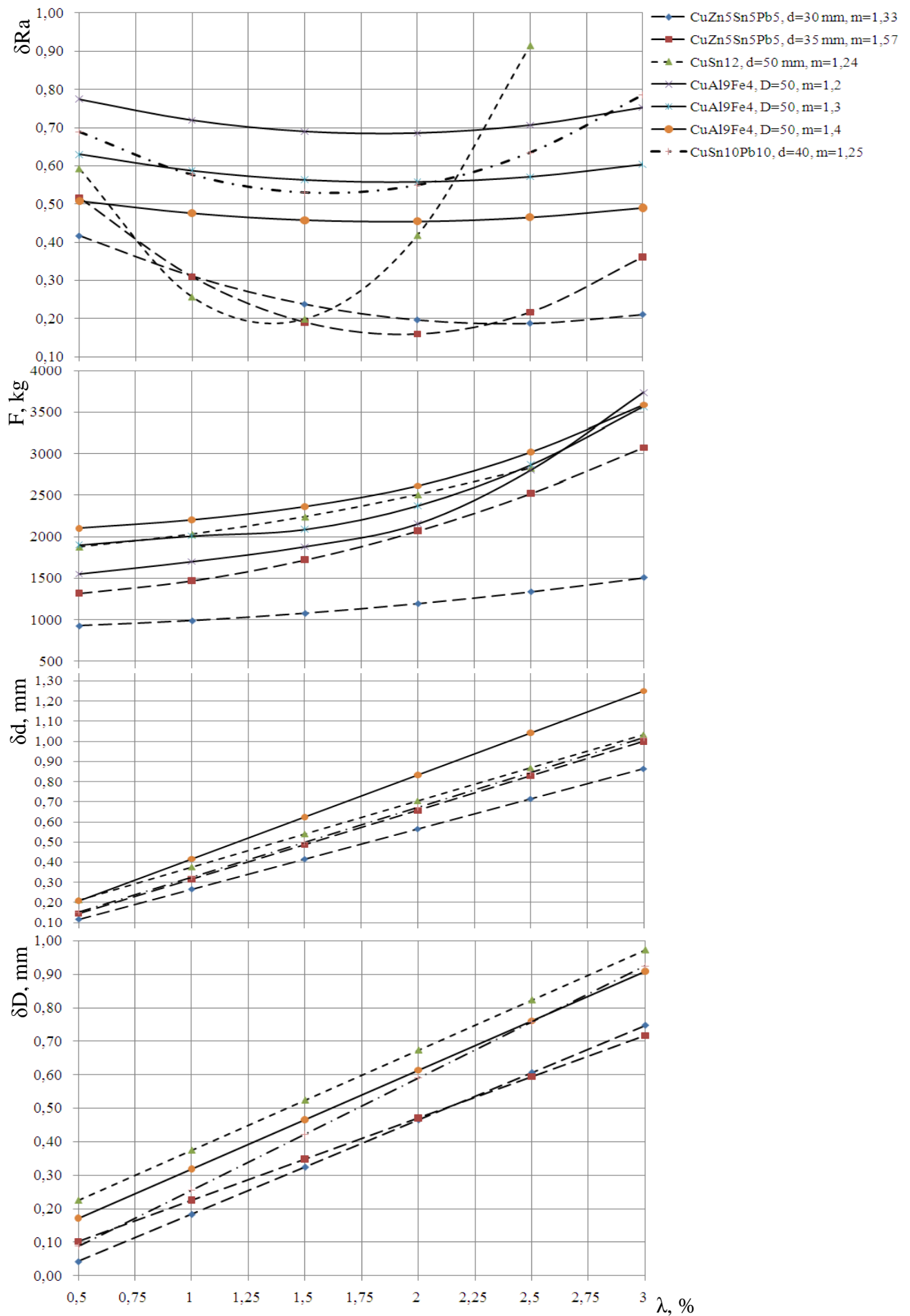
Фиг.6.5 Сумарно машинно време необходимо за обработка на експериментални образци според операциите и режимните параметри за различни обработки;

При довършваща обработка чрез редуциращо дорноване по външната повърхност, както и чрез дорноване по вътрешната (образец №4), сумарното машинно време спрямо образец номер №1, обработен чрез струговане и райбероване, намалява с около 2,5 пъти. Обработката чрез дорноване само по вътрешната повърхност, №3 довежда до понижаване на машинното време спрямо образец №1 с 1,55 пъти.

6.3 Обобщени графични зависимости показващи връзката между технологичните параметри на дорноване и получаваните параметри на качеството

Определянето на стегнатостта необходима за дорноване, базирано на основните резултати от експерименталните изследвания извършени до момента, се влияе от очакваната повърхностна грапавост, грешките във формата които процеса на дорноване внася в обработваната заготовка и очакваната повърхностна микротвърдост. Други ограничения могат да бъдат: максималното допустимо натоварване на използваната за дорноване машина, размерите на заготовката и необходимата деформация по вътрешната и външна повърхност.

Фиг.6.6 показва основните зависимости между качествените и технологични параметри на процеса.



Фиг.6.6 Обобщени номографични зависимости показващи връзката между окръжната линейна деформация λ , % и параметрите на процеса дорноване;

За да се улесни избора на технологични параметри в зависимост от очакваните остатъчни деформации, коефициента на понижаване на грапавостта и натоварването при обработка на бронзови лагерни втулки чрез дорноване, са разработени графични зависимости подредени в последователност показана на фиг.6.6, разработена за дорноващ елемент с ширина на цилиндричната част 5 mm.

Първата графика показва зависимостта между параметъра характеризиращ изменението на грапавостта – δRa и окръжната линейна деформация λ , %, за различните изследвани бронзови материали и заготовки. С повишаването на окръжната линейна деформация се понижава коефициента на изменение на грапавостта, като за всички образци приема минимални стойности в границите на изследваните параметри. При положение, че се изисква достигането на минимална грапавост е необходимо, определянето на стегнатостта чрез окръжната линейна деформация в интервал, в който параметъра на изменение на грапавостта достига до минимум. След определянето на λ , % може да се определи стегнатостта като функция на диаметъра – $i = \lambda \cdot d / 100$, mm.

Втората графика от фиг.6.7, показва връзката между окръжната линейна деформация и натоварването необходимо за процес на дорноване, според експерименталните резултати за съответните материали. Определянето на натоварването е необходимо при избор и проектиране на експериментална екипировка.

Третата графика, показва връзката между относителната стегнатост на дорноване и остатъчната, след дорноване деформация, по вътрешния диаметър на втулката за различните експериментални образци. Поради повишените изисквания към точността на плъзгащите лагерни втулки, по вътрешния диаметър, от тази графика следва да се определи размера на заготовката, преди осъществяване на процес дорноване.

Четвъртата графика показва връзката между остатъчната деформация по външния диаметър δD , като функция на окръжната линейна деформация λ , % в границите на извършените експериментални изследвания. Определянето на тази деформация е необходимо при избора на размерите на заготовката при предварителна обработка.

Определянето на стегнатостта и очакваните деформации според последователността разглеждана до момента, довежда до необходимост от определяне на диаметъра на дорника. Големината на диаметъра на дорника се влияе пряко от конструктивния размер на детайла и еластичната деформация, която се възвръща по обработваната повърхност след преминаване на дорника, тази зависимост е разгледана в литературния обзор. След изразяване на диаметъра на дорника получаваме:

$$d = d_1 + \delta d_e \quad (6.1)$$

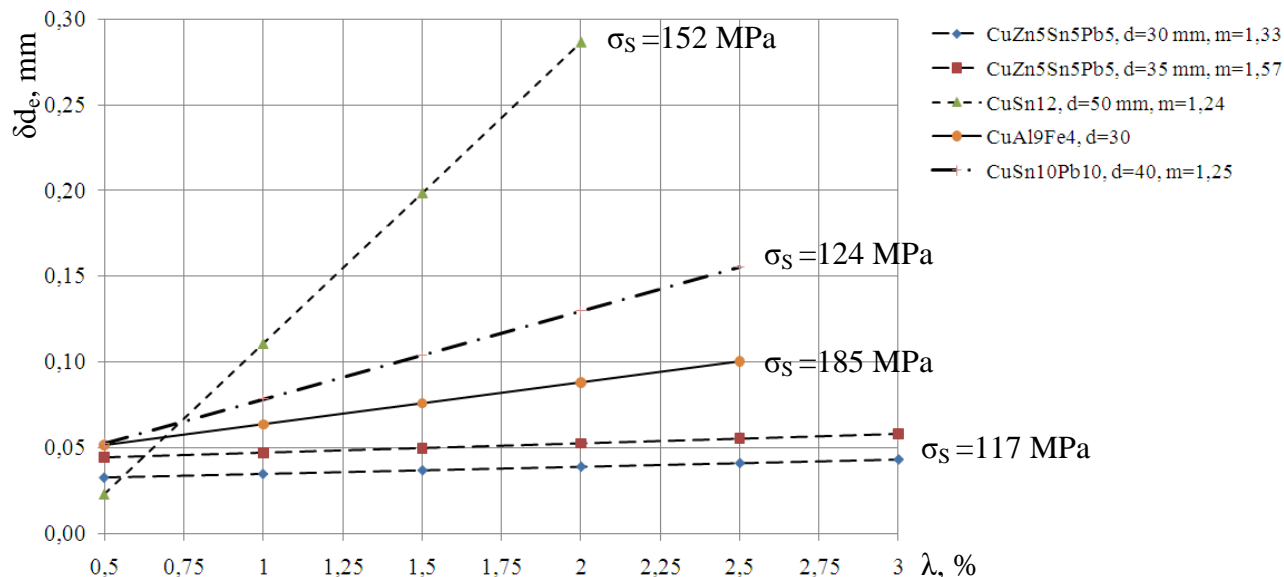
Където:

d_1 – диаметър на дорника според конструктивния чертеж, mm;

δd_e – абсолютна еластична деформация, mm;

d – диаметър на дорника, mm;

Следващата фигура (фиг.6.8), показва изменението на еластичната деформация след дорноване в зависимост от окръжната линейна деформация за образците изследвани в експерименталната част.



Фиг.6.8 Еластични деформации по вътрешната повърхност в зависимост от окръжната линейна деформация λ , %;

От анализа на графиката се наблюдава, че повишаването на окръжната линейна деформация, довежда до увеличаване на еластичната деформация. Повишаването на дебелината на стената на заготовката също довежда до повишаване на тези деформации, на база по-голямото контактно налягане и по-големия слой в който се разпространяват. Например, при обработката на заготовки от материал CuZn5Sn5Pb5 при $h=5$ mm, с окръжна деформация 1.5 % довежда до еластична деформация 0.04 mm, докато при $h=10$ mm имаме 0.05 mm.

Границата на провлачане на обработваната заготовка има най-голямо влияние върху еластичните деформации, това се вижда от фиг.6.8, като стойностите на границата на еластичност са разгледани в табл.1.6. Както беше споменато при анализа на остатъчните деформации, вероятно материала от който са изработени заготовките от групата на CuAl9Fe4 има различия в химичния състав и не отговаря на табличните данни за механичните му характеристики.

6.4 Основни изводи към шеста глава

1. Установена е експерименталната зависимост на големината на силата при дорноване от технологичните режимни фактори при зададени конструктивни параметри на лагерните втулки.

2. Доказано е, че приложението на дорноването като довършваща обработка, значително намалява технологичното време, необходимо за обработване на отвори и външни цилиндрични повърхнини, като е установено, че средното намаление за дорнованите само по вътрешната повърхност образци е с 0,52 min т.е. 35 %, докато използването и на редуциращо дорноване намалява времето с 1,04 min - 71 % сравнено с методите на разстъргване (Табл.6.1, фиг.6.6).

3. Построени са графични зависимости между технологичните режимни фактори при дорноване, получаващите се деформации на сечението на втулките и силите при изпълнението на процеса, както и получаващите се параметри на качеството на обработената повърхнина. Данните от получените по-горе резултати се използват при проектирането на технологичната система и режимите при дорноване.

ПРИНОСИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД НАУЧНО - ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Формулирана е нова методика за теоретично изследване на връзката между технологичните параметри на процеса дорноване и отклоненията от кръглост в обработваните детайли.

2. Получени са нови с доказана адекватност регресионни модели за:

- Зависимостите между технологичните параметри на процеса дорноване и качествените показатели на обработваната повърхност при обработка на лагерни и водещи втулки от бронзови материали.

- Зависимостите между технологичните параметри на процеса дорноване и отклоненията във формата на обработените повърхнини.

- Зависимостите между периферната скорост на лагеруващият вал и коефициента на триене в лагерната двойка за повърхности обработени чрез различни довършителни методи, като са доказани предимствата на обработките чрез дорноване.

3. Предложена е и изследвана схема за обработка на лагерни втулки, чрез последователно дорноване по външната и вътрешна повърхност, като са доказани предимствата на тази обработка, довеждащи до общо подобряване на стойностите на параметрите на качеството на обработените повърхнини и техните експлоатационни характеристики.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1.Получените експериментални резултати за параметрите на точността на обработените посредством дорноване втулки показват, че допуската на обработените повърхнини намалява средно с четири степени на точност.

2. Получени са нови данни за връзката между технологичните параметри на дорноването и параметрите на качеството на обработените повърхнини за четири различни марки бронз.

3. Получените експериментални зависимости между технологичните параметри на дорноване и параметрите на качество на обработените повърхнини, дават възможност за определяне на най-подходящите режими на обработка в конкретните условия.

4. Резултатите получени в дисертационната работа са използвани в „МИКРОМЕТ” АД – гр.Варна и „РМК-ИНЖЕНЕРИНГ” ООД – гр. Девня, при проектиране на технологични процеси за обработка на бронзови лагерни втулки, с оглед достигане на ниска повърхностна грапавост, необходимата точност на втулките и повишена износоустойчивост.

ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА

1.Василев, Т. Г, Теоретичен анализ на деформациите при довършителна обработка на бронзови лагерни втулки чрез дорноване, Известия на съюза на учените-Варна”, серия „ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ” 2’2007, 1’2008, с.9-14;

2.Георгиев, Д. С, К. А. Кръстев, Т. Г. Василев, Влияние на изходната грапавост върху качествените параметри на обработени чрез калиброващо дорноване бронзови лагерни втулки, сп. „Машиностроителна техника и технологии”, 2’2009, с.21-25;

3. Василев, Т. Г, Д. С. Георгиев, Експлоатационни характеристики на обработени чрез свободно натисково дорноване бронзови лагерни втулки, Известия на съюза на учените-Варна”, серия „ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ” 2’2009, 1’2010, с.41-44;
4. Георгиев, Д. С, Т. Г. Василев, К.А. Кръстев, Анализ на физико-механичните и качествени показатели на бронзови лагерни втулки след проведена повърхностна пластична деформация чрез дорноване, сп., „Машиностроителна техника и технологии”, 1’2010, с.10-14;
5. Георгиев, Д. С, Т. Г. Василев, Работно оразмеряване на инструмент за външно дорноване при обработка на бронзови тръбни заготовки, сп. „Машиностроителна техника и технологии”, 1’2010, с.15-19;
6. Василев, Т. Г, Д. С. Георгиев, Предпоставки за формиране на грешки в обработвани чрез свободно натисково дорноване бронзови лагерни втулки, Научна конференция „Младите в науката 2010”, с.83-86;
7. Василев, Т. Г, Д. С. Георгиев, Изследване на отклоненията от цилиндричност при дорноване на бронзови лагерни втулки, Морски научен форум, Том.3, Варна, 2011, с.235-241;
8. Georgiev, D. S, T. G. Vasilev, Wear of bronze bearing bushes after finishing with burnishing, Faculty of Manuf. Tech. TUKE, Manuf. and Ind. Eng., 11(2), 2012, p. 9-12, ISSN 1338-6549;
9. Vasilev, T. G., Georgiev, D. S., Comparison between general exploitation characteristics of bronze bearing bushes treated by different finish methods, Journal “CA Systems in Production Planning”, Number 1, Volume 14, 2013, p. 37-41;

Резюме на английски език.

Bore burnishing methods is a process which achieved high quality parameters of working surface based on surface plastic deformation metal-working processes. Qualitative characteristics controlled by the burnishing method are: cold-hardened on the surface layer, lower roughness, high dimensional accuracy, reducing the deviations in the shape and all at low-cost equipment.

Technological sequence in the manufactures cycles of solid bronze bearing bushes included: fine turning only, drilling and reaming, drilling and grinding or drilling and broaching. These processes of machining achieve dimensional tolerance IT7 and roughness of internal surface $Ra \leq 1,6 \mu m$.

As a listed, machining (fine turning, drilling, reaming and oth.) are: less productive, labor-intensive and require expensive tooling. Others problems in machining on processed surfaces are notched surface roughness, small contact area between sliding parts and surface cracks formation. The cracks during operation are spread in the bearing surface leading to a reduction in bearing life. Notched surface topography prone to rapid wear the tips of micro-roughness and fast disruption of bearing clearance.

When we treated bearing surface used cold plastic deformation, we can create a micro-geometry surface topography with low surface roughness, large contact area and high surface hardness. Reasons for this in the present work to examine the consistency of processing including prior turning and bore burnishing.

Благодарности,

на моя научен ръководител проф. Георгиев за цялостната помощ и подкрепа, на моите родители и семейство за безусловната опора и на колегите от колективите, в които съм работил по време на разработване на дисертацията.